



Catharina Pereira de Alcantara Souza

Bacharel em Engenharia Química

**Análise dos fatores críticos para a evolução da taxa de
penetração da Energia Eólica - caso de estudo
Português**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Energias Renováveis

Orientador: Prof. Dr. Rui Ferreira dos Santos

Presidente:

Arguentes:

Vogais:

Junho, 2021



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

A presente dissertação intitulada “**Análise dos fatores críticos para a evolução da taxa de penetração da Energia Eólica – caso de estudo Português**”, escrita por mim, Catharina Pereira de Alcantara Souza Santos, tem o seguinte termo de COPYRIGHT:

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Edilane e Carlos Henrique de Souza pela oportunidade da minha vida e ao companheirismo e apoio fundamental do meu marido João Pedro Santos.

Agradeço aos profissionais entrevistados, nomeadamente as senhoras Ana Estanqueiro e Teresa Simões, e os senhores António Sá da Costa, José Medeiros Pinto, Jerónimo Viana Borges Meira da Cunha e Celso Costa pelo importante contributo oferecido para a execução do estudo.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Doutor Rui Ferreira dos Santos, por toda a sua dedicação e doação de conhecimento e experiência no processo de orientação deste trabalho.

Agradeço aos demais professores do curso de Mestrado em Engenharia das Energias Renováveis da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pelos ensinamentos passados durante as aulas de formação.

Finalmente agradeço aos meus colegas de curso pelo apoio e companhia, não somente durante as aulas e estudos em grupo, mas também nos momentos de lazer e descontração que conferem leveza e alegria a este momento de dedicação intensa.

Resumo

O desenvolvimento da tecnologia eólica oferece diversos benefícios em termos de fornecimento de energia com baixo teor de carbono, atuando no controlo das alterações climáticas e no empenho pela sustentabilidade. Notáveis avanços tecnológicos tornaram a energia eólica umas das tecnologias mais baratas e mais eficientes na produção de energia. As instalações de energia eólica cresceram substancialmente nos últimos anos em todo o mundo e espera-se que o setor continue em expansão e que a tecnologia se torne cada vez mais vantajosa.

Este trabalho procurou analisar os fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica. Foi, assim, elaborada uma análise a nível global, onde foram identificados os principais elementos referidos na literatura, incluindo aspetos tecnológicos, socioeconómicos, políticos e ambientais. A análise foi direcionada para o caso particular de Portugal, através da realização de entrevistas com atores relevantes do setor eólico nacional.

Diante das perceções obtidas através deste estudo, considera-se a energia eólica uma tecnologia com atributos que conferem grande vantagem ao aproveitamento das oportunidades do atual contexto. A energia eólica é vista como um elemento essencial na obtenção de um *mix* energético capaz de cumprir as metas climáticas e auxiliar na transição energética. Preços atrativos, a contribuição ambiental e a tendência de progressos na tecnologia offshore, nas soluções híbridas e na produção do hidrogénio verde esboçam um cenário favorável para a evolução do setor que deve, ainda assim, procurar soluções para manter-se como uma tecnologia competitiva.

A análise para o caso português evidenciou a importância desta fonte que representa cerca de 25% do fornecimento elétrico do país, identificou a hibridização, o sobre-equipamento e a repotenciação como as principais estratégias nacionais para o reforço do setor eólico e detectou a morosidade dos processos de licenciamento como um dos principais aspetos a serem melhorados.

Termos-chave: Energia com baixo teor de carbono; Transição energética; Penetração da Energia Eólica; Energia Eólica em Portugal

Abstract

The development of wind technology offers several benefits in terms of low-carbon energy supply, with many effects on climate change control and commitment to sustainability. Remarkable technological advances have made wind energy one of the cheapest and most efficient technologies in energy production. Wind power installations have grown substantially in recent years around the world, and it is expected that the sector will continue to expand and that the technology will become increasingly advantageous.

This work is aimed to analyze the critical factors for the evolution of wind power penetration. An analysis was developed at global level, where the main elements mentioned in the literature were identified, including technological, socioeconomic, political and environmental aspects. The study was directed to the particular case of Portugal, by conducting interviews with relevant actors in the national wind sector.

In light of the perceptions obtained through this study, wind energy is considered to be a technology with attributes that enable the exploitation of the opportunities of the current context. Wind energy is seen as an essential element in achieving an energy mix capable of meeting climate goals and assisting in the energy transition. Attractive prices, environmental contribution and the trend of progress in offshore technology, hybridization and green hydrogen outline a favourable scenario for the evolution of the sector that should still look for solutions to remain a competitive technology.

The analysis for the Portuguese case showed the importance of this source in the country's energy supply which represents 25% of the electricity generation. It also identified hybridization, overplanting and repowering as the main national strategies for strengthening the wind sector. Finally, the analysis highlighted the slowness and complexity of licensing processes as the main aspects to be improved.

Keywords: Low-carbon energy; Energy transition; Wind power penetration; Wind energy in Portugal.

Índice

Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xii
Lista de siglas e acrónimos	xiv
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Estrutura da dissertação.....	3
2. Metodologia	5
2.1 Análise SWOT	5
2.2 Entrevistas	7
2.3 Análise de Projetos.....	10
3. Estado da Arte	13
3.1 O contexto da problemática ambiental	13
3.2 Progressos da energia eólica no mundo	13
3.2.1 Capacidade instalada	13
3.2.2 Metas políticas	17
3.2.3 Benefícios sociais	19
3.2.4 Custo nivelado de eletricidade	20
3.2.5 Tendências do mercado	22
3.2.6 Desenvolvimento tecnológico.....	23
3.2.7 Energia eólica <i>offshore</i>	24
3.2.8 Hibridização	27
3.2.9 Hidrogénio Verde.....	27
3.3 Panorama nacional.....	29
3.3.1 Capacidade instalada	29
3.3.2 Metas políticas	31
3.3.3 Benefícios sociais	33
3.3.4 Mecanismo de apoio e impacto da utilização de FER no mercado de eletricidade.....	35

3.3.5	Fim da vida útil dos aerogeradores e o uso da tecnologia para aumento da produção.....	36
3.3.6	Primeiros passos da energia eólica <i>offshore</i>	37
3.3.7	Perspetivas de projetos híbridos e a Estratégia Nacional para o Hidrogénio ..	38
3.4	Análise do potencial da tecnologia eólica face às outras fontes de energia	39
3.4.1	Tendência de custos	40
3.4.2	Ordenamento do território	41
3.4.3	Potência por área de implantação.....	42
3.4.4	Energia renovável variável e aspetos da integração na rede elétrica.....	44
3.4.5	Armazenamento	47
3.4.6	Impactes ambientais.....	50
3.4.7	Riscos	52
3.4.8	Criação de emprego	53
3.4.9	Universalidade	55
3.4.10	Modularidade	55
3.4.11	Microgeração residencial em meios urbanos.....	56
4.	Resultados e Discussão	59
4.1	Análise dos fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica ..	59
4.1.1	Listagem das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.....	59
4.1.2	Interpretação e inter-relação	64
4.2	Análise para o caso português	67
4.3	Análise de Projetos.....	88
4.3.1	Repotenciação da Central Eólica do Vergão	88
4.3.2	Solução de aproveitamento eólico em meios urbanos: poste de iluminação inteligente com sistema híbrido eólico-solar.....	92
5.	Conclusão.....	96
	Referências Bibliográficas.....	101
	Anexo 1 Notas Biográficas.....	111
	Anexo 2 Guião da Entrevista	115
	Anexo 3 Contacto via e-mail à GENERG.....	117
	Anexo 4 Matriz da Análise <i>SWOT</i>	119

Índice de Figuras

Figura 3-1 Capacidade eólica mundial instalada e crescimento anual 2008 – 2018 (GWEC, 2019 apud REN21, 2019, p. 118)	15
Figura 3-2 Novas instalações eólicas <i>onshore</i> e <i>offshore</i> 2019 na Europa (Wind Europe, 2020).....	15
Figura 3-3 Consumo nacional de eletricidade atendido por energia eólica (IEA Wind, 2019).....	16
Figura 3-4 Evolução histórica do LCOE (GWEC, 2019)	21
Figura 3-5 Inovações e melhorias tecnológicas em desenvolvimento rumo a uma maior capacidade turbinas eólicas <i>onshore</i> (IRENA, 2019a)	24
Figura 3-6 Progresso da capacidade instalada de energia eólica <i>offshore</i> entre 2011-2019 (IEA Wind, 2019)	25
Figura 3-7 Diagrama do conceito de P2G (Boudellal, 2018)	28
Figura 3-8 Evolução da potência eólica instalada em Portugal (E2p, 2020)	29
Figura 3-9 Produção de energia eólica por região (DGEG, 2020)	30
Figura 3-10 Evolução da quota de energia de fontes renováveis na eletricidade no horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019)	32
Figura 3-11 Evolução do emprego criado direta e indiretamente pelo setor das FER (Deloitte & APREN, 2019)	33
Figura 3-12 Distribuição da contribuição total para a criação de emprego por FER em 2018 (Deloitte & APREN, 2019)	34
Figura 3-13 Projeto Windfloat (EDP, 2019).....	38
Figura 3-14 Custo médio nivelado ponderado global de eletricidade de tecnologias de produção de energia renovável em escala de serviço público entre 2010 e 2019 (IRENA, 2019b).....	40
Figura 3-15 Valores médios de densidade de potência estimados para subtipos de energia renovável (Zalk & Behrens, 2018).....	43
Figura 3-16 Estimativa do número de empregos nas energias renováveis, por tecnologia (IRENA, 2014)	54
Figura 4-1 Central Eólica do Vergão (Miranda, 2021)	88
Figura 4-2 Omniled (Omniflow, n.d.-a).....	92
Figura 4-3 Iluminação do parque de estacionamento das piscinas públicas de Matosinhos (Omniflow, 2020).....	94

Figura 4-4 Sistema de prevenção de aglomerações (Adaptado de Smart Cities World, 2020).....	95
---	----

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 Critérios de avaliação do modelo SWOT (adaptado de Chiavenato e Sapiro, 2009).....	6
Tabela 2-2 Matriz SWOT (adaptado de Chiavenato e Sapiro, 2009)	6
Tabela 3-1 Metas das políticas nacionais de produção de energia eólica (adaptado e traduzido de IEA Wind, 2019)	18
Tabela 3-2 Empregos diretos e indiretos na energia eólica 2017-2018 (adaptado de REN21, 2019).....	20
Tabela 3-3 Novas instalações e capacidade acumulada <i>offshore</i> 2018-2019 (GWEC, 2020).....	26
Tabela 3-4 Produção de energia eólica, número de parques e aerogeradores (DGEG, 2020).....	30
Tabela 3-5 Trajetórias estimadas para a quota setorial de energia renovável no consumo final de energia no horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019)	32
Tabela 3-6 Comparação de valores de densidade de potência encontrados na literatura (Zalk & Behrens, 2018).....	43
Tabela 3-7 Tecnologias de armazenamento mais utilizadas em sistemas de conversão de energia eólica (Ould Amrouche et al., 2016).....	48
Tabela 3-8 Estimativas comparativas de análise do ciclo de vida para fontes de eletricidade (Nugent & Sovacool, 2014)	52
Tabela 4-1 Matriz SWOT: Forças e Fraquezas (Elaboração Própria)	59
Tabela 4-2 Matriz SWOT: Oportunidades e Ameaças (Elaboração Própria)	62
Tabela 4-3 Matriz SWOT: Interpretação e inter-relação da análise dos fatores que influenciam evolução da penetração da energia eólica (Elaboração Própria)	64
Tabela 4-4 Dados técnicos da evolução na produção da Central Eólica do Vergão (Traduzido de Miranda, 2021)	90

Lista de siglas e acrónimos

ACV – Avaliação do ciclo de vida

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CAES – *Compressed Air Energy Storage*

CIEG – Custos de Interesse Económico Geral

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento

CQNUAC – Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas

EN-H2 – Estratégia Nacional para o Hidrogénio

ERV – Eletricidade renovável variável

FER – Fontes de energia renováveis

FES – *Flywheel Energy Storage*

FiT – *Feed-in Tariffs* (Tarifas feed-in)

GEE – Gases com efeito de estufa

HES – *Hydrogen Energy Storage*

IEA Wind TCP – *International Energy Agency Wind Technology Collaboration Programme*

INDC – *Intended Nationally Determined Contribution*

IoT – *Internet of Things*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IRENA - *International Renewable Energy Agency*

LCOE – *Levelized Cost of Electricity*

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MIBEL – Mercado Ibérico de Eletricidade

P2G – *Power-to-Gas*

PHS – *Pumped hydro storage*

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima

PPA – *Power Purchase Agreement*

PRE – Produção em Regime Especial

REN – Redes Energéticas Nacionais, SGPS, S.A

RFBs – *Redox Flow Batteries*

RNC2050 – Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

SCEE – Sistema de Conversão de Energia Eólica

SED – Sistema de Energia Descentralizado

SSWT – *Small-Scale Wind Turbines*

SWOT – *Strength Weakness Opportunity Threat*

UE – União Europeia

1. Introdução

Em todo o mundo muitos esforços são feitos para reduzir a emissão dos gases de efeito estufa, com o objetivo de abrandar o aquecimento terrestre que está impactando negativamente no clima global (Kroposki et al., 2006). Para superar os desafios ambientais, a produção de energia precisa de mudanças estruturais para mudar do fornecimento de energia convencional para o fornecimento de energia através de fontes renováveis (Lehtola & Zahedi, 2019).

Atualmente, uma das principais motivações consideradas nos discursos de apoio às energias renováveis no mundo é a busca pelo desenvolvimento sustentável (Simas & Pacca, 2013). O relatório “Nosso Futuro Comum” publicado no ano de 1987 trouxe para o discurso público e definiu o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo aquele que encontra as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades. Segundo o relatório, o desenvolvimento sustentável está relacionado não só com a economia, mas também com o meio ambiente e com a sociedade (United Nations, 1987).

A participação das energias renováveis na produção de eletricidade continua a aumentar em todo o mundo. Entretanto, apesar do progresso significativo no setor de energia, observa-se um aumento apenas moderado no consumo total de energia final, devido ao apoio insuficiente às políticas e ao lento desenvolvimento de novas tecnologias nos setores dos transportes, aquecimento e refrigeração em certos países. Contudo, alguns países continuam a investir em novas centrais termoelétricas e ainda continuam a aumentar a cada ano o financiamento de bancos privados em projetos de combustíveis fósseis. Embora as emissões de CO₂ relacionadas à energia tenham permanecido estáveis em 2019, o mundo não parece estar no caminho para limitar o aquecimento global abaixo de 2° C, quanto mais 1,5 ° C, conforme estipulado no Acordo de Paris (REN21, 2020).

Para além de estabelecerem metas para as fontes de energia renováveis e para a energia eólica, muitos países projetam mecanismos de mercado, promulgam políticas de energia e financiam pesquisas tecnológicas (IEA Wind, 2019). A energia eólica tem sido uma tecnologia renovável precursora nos últimos anos. Em termos da capacidade instalada total, a energia eólica é a segunda tecnologia líder em energias renováveis depois da energia hidroelétrica, com mais de meio terawatt instalado globalmente (IRENA, 2019a).

A tecnologia eólica desenvolveu-se eficazmente, atingiu custos competitivos e consolidou-se no mundo. Entretanto, a tecnologia precisa de continuar a evoluir de modo a tornar a produção cada vez mais eficiente. A implantação de políticas e medidas de incentivo ao setor eólico são igualmente necessárias, possibilitando assim que cada país ou região desenvolva e progrida a sua cadeia produtora de acordo com seu próprio espaço e oferta de vento (Macedo, 2016).

Tal como o amadurecimento da tecnologia eólica *onshore*, a vertente *offshore* passou a ser adotada por governos e instituições internacionais como o próximo ponto de viragem na transição energética (GWEC, 2020). O interesse na exploração de energia eólica *offshore* tem aumentado

consideravelmente em todo o mundo, e deve crescer ainda mais rapidamente nos próximos anos, sob o contexto da elevada necessidade energética e do importante progresso no desenvolvimento global do setor das energias renováveis (Díaz & Guedes Soares, 2020).

A hibridização, seja pela combinação da tecnologia eólica com outra fonte de energia ou com alguma solução de armazenamento, oferece oportunidade para aumentar a participação da produção renovável na rede elétrica e pode ainda ajudar a enfrentar um dos desafios da energia renovável variável: a flexibilidade. As soluções híbridas acrescentam valor aos mercados maduros e fornecem segurança de fornecimento energético aos mercados emergentes ou áreas remotas (GWEC, 2020).

Portugal é um país notável no setor eólico mundial, destaca-se pelo potencial instalado e pelos elevados níveis de penetração da energia eólica no balanço energético. Nos últimos 20 anos, houve uma importante evolução do setor eólico no país, desde os 115 MW de potência instalada no ano de 2000 até aos atuais 5,4 GW em 2020 (E2p, 2020).

Atualmente, a energia eólica desempenha um papel fundamental no setor elétrico português. Entre os anos de 2016 e 2018, aproximadamente um quarto do consumo de energia elétrica do país foi suprida por eletricidade gerada a partir da fonte eólica (APREN, 2019a). No ano de 2019, a eólica foi a fonte renovável que mais contribuiu para a satisfação do consumo nacional de eletricidade, totalizando 13,6 TWh, o que representa 27% do total da produção elétrica nacional (APREN, 2020).

Segundo o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC), a visão estratégica de Portugal para o horizonte 2030 na energia eólica baseia-se, sobretudo, na hibridização, no sobre-equipamento e no *repowering*, tidos como as três formas de aumentar a produção de eletricidade e otimizar os investimentos nas centrais e na rede elétrica já realizados, minimizando os custos para o consumidor e para o meio ambiente (Governo de Portugal, 2019).

É importante salientar que parte significativa dos empreendimentos eólicos do país chegará ao fim de vida útil dos seus aerogeradores dentro em breve. Neste sentido, é necessário o investimento de reaproveitamento da frota existente de modo a evitar uma diminuição do setor nos próximos anos. Diante da tendência favorável à produção de eletricidade renovável e o alto índice de eolicidade do país, a extensão de vida útil dos aerogeradores e o *repowering* são as duas soluções apontadas para a continuidade de operação da frota existente (IEP, 2019).

Diante do atual contexto global e nacional de medidas de controlo das alterações climáticas através do reforço e desenvolvimento dos setores energéticos renovável e eólico, este estudo faz-se oportuno, uma vez que envolve o uso de metodologias com base em referencial teórico, contacto com atores relevantes do setor eólico português e observação de projetos concretos, com a finalidade de se analisar os principais fatores – sob aspetos tecnológicos, socioeconómicos, políticos e ambientais – intervenientes na evolução da penetração da produção eólica no balanço energético. A principal finalidade foi avaliar, para o caso português, como estes fatores podem ser trabalhados para que ocorra um maior aproveitamento do potencial eólico existente e quais aspetos precisam ser revistos para que não haja perdas dos ativos vigentes.

1.1 Objetivo

A presente dissertação tem como objetivo a análise dos fatores críticos para a evolução da taxa de penetração da energia eólica no *mix* energético, com particular foco no caso português. Este trabalho é composto por três fases.

A primeira fase pretende identificar os principais fatores referidos na literatura científica e em relatórios de organizações internacionais e nacionais relevantes. Serão identificados fatores de diferente natureza, incluindo aspetos tecnológicos, socioeconómicos, políticos e ambientais, os quais servirão como base para desenvolver uma análise SWOT sobre o potencial de penetração da energia eólica nos próximos anos.

A segunda fase intenta aprofundar a análise para o caso português, nomeadamente através da realização de um conjunto de entrevistas com atores relevantes do setor eólico em Portugal. A informação obtida nas entrevistas será submetida a uma análise de conteúdo de modo a explorar as perceções e motivações dos diferentes entrevistados.

Na terceira fase são escolhidos dois elementos de destaque dentre as reflexões trabalhadas ao longo do desenvolvimento deste estudo, de modo a serem explorados com maior detalhe através da análise de projetos concretos.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. O segundo capítulo é dedicado à metodologia aplicada na realização deste trabalho. Apresenta-se uma pequena introdução sobre a elaboração da pesquisa de revisão bibliográfica bem como os métodos utilizados nas diferentes fases do estudo, nomeadamente: a análise SWOT, utilizada no estudo do levantamento dos fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica no balanço energético global; a realização de entrevistas semiestruturadas com profissionais renomados para o aprofundar da análise para o caso português; e a investigação de projetos concretos para explorar dois elementos considerados relevantes.

O terceiro capítulo apresenta inicialmente uma breve contextualização da problemática ambiental, que é sucedida de uma revisão bibliográfica que expõe o estado da arte da evolução do desenvolvimento da energia eólica a nível mundial e também nacional. O capítulo encerra com uma análise comparativa do potencial da tecnologia eólica face às outras fontes renováveis de energia.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos em cada uma das fases desta dissertação. Em primeiro lugar são apresentados os resultados da elaboração da análise a nível global, composta por duas etapas: a de identificação das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças; e a de interpretação e inter-relação destas categorias. Em seguida, apresenta-se a análise a nível nacional através da análise de conteúdo dos dados coletados pelas entrevistas com atores

relevantes do setor eólico em Portugal. Por fim, são explorados dois elementos de destaque por meio da investigação do projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão e da apresentação de um produto inovador da tecnologia portuguesa, um sistema inteligente híbrido eólico-solar de iluminação pública.

O quinto e último capítulo apresenta as considerações finais e conclusões deste trabalho.

2. Metodologia

Inicialmente, o trabalho foca-se numa extensa revisão bibliográfica que engloba diversos aspetos no que se refere ao crescimento e amadurecimento do desenvolvimento do setor da energia eólica no mundo e em Portugal, além de um comparativo desta tecnologia com outras fontes de energia, sobretudo as renováveis.

A pesquisa exploratória procura analisar os principais fatores de diferentes naturezas, incluindo aspetos tecnológicos, socioeconómicos, políticos e ambientais que interferem na penetração da energia eólica no mix energético. O levantamento bibliográfico tem como base relatórios técnicos das principais instituições nacionais e internacionais do setor eólico, artigos científicos, livros, normas e planos governamentais. O critério utilizado para o período de pesquisa foi essencialmente a partir do ano de 2010 até ao de 2020, com raras exceções de publicações a partir do ano de 2005.

O conteúdo reunido através desta revisão da literatura foi então explorado por meio de uma análise SWOT que procura explorar o potencial da evolução da penetração da energia eólica nos próximos anos.

O aprofundamento do estudo a nível nacional foi desenvolvido mediante a elaboração de um conjunto de entrevistas semiestruturadas com atores relevantes no setor em Portugal. O contributo oferecido pela experiência e conhecimento de profissionais de diversas áreas relacionadas ao setor energético renovável e eólico nacional, foi estudado através da aplicação de uma análise de conteúdo, que procurou observar as perceções e motivações dos diferentes atores entrevistados.

Por fim, foram escolhidos dois elementos de destaque no desenvolvimento deste estudo, de modo a serem explorados com maior detalhe através da análise de projetos concretos. Apresenta-se assim, a investigação do projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão e um projeto de um dispositivo com sistema híbrido eólico-solar autónomo e inteligente de iluminação pública.

2.1 Análise SWOT

A ferramenta de análise denominada “análise SWOT”, cujo título é composto pelas quatro dimensões de análise: Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças), é um modelo clássico utilizado em diversos estudos para promover um olhar ampliado de um determinado cenário, contemplando elementos do ambiente interno associados às definições de forças e fraquezas, e do ambiente externo, que tendem a determinar as oportunidades e ameaças (Johann, 2015).

No âmbito do planeamento estratégico das organizações, a primeira etapa desta análise é, segundo Chiavenato & Sapiro (2009), listar as oportunidades, ameaças, forças e fraquezas de acordo com o modelo apresentado na Tabela 2-1.

Após a listagem de cada um dos itens da análise é feita uma interpretação e inter-relação entre eles. Este cruzamento dá origem aos quatro quadrantes da matriz SWOT (Tabela 2-2) e para cada uma das formações geradas é apresentada uma decisão a ser tomada (Chiavenato & Sapiro, 2009).

Tabela 2-1 Critérios de avaliação do modelo SWOT (adaptado de Chiavenato e Sapiro, 2009)

Oportunidades	Ameaças	Forças	Fraquezas
Mudança de hábito do consumidor Surgimento de novos mercados Diversificação Queda de barreiras comerciais	Mudanças de hábitos do consumidor Entrada de novos concorrentes Aumento das vendas de produtos substitutos Mudanças na regulamentação Novas tecnologias, serviços, ideias Crise na economia	Competência básica em área chave Recursos financeiros adequados Liderança e imagem de mercado Acesso a economias de escala Curva de experiência em P&D	Falta de foco no negócio Instalações obsoletas Ausência de competências básicas Problemas operacionais internos Confiabilidade dos dados, planos e previsões Insucesso na liderança

Tabela 2-2 Matriz SWOT (adaptado de Chiavenato e Sapiro, 2009)

Ambiente Externo	Ambiente Interno	
	Forças	Fraquezas
Oportunidades	1 Abordagem agressiva : aproveitamento da área de domínio da empresa	2 Abordagem defensiva e de manutenção do <i>status quo</i>
Ameaças	3 Abordagem de segmentação (área de aproveitamento potencial)	4 Abordagem de desinvestimento, desativação ou blindagem: área de risco acentuado

Segundo Tachizawa e Freitas (2004), os quatros quadrantes da matriz SWOT podem, de forma geral, ser assim compreendidos:

- Quadrante 1: demonstra a existência potencial de ação ofensiva, evidenciando o quanto as forças podem colaborar para o aproveitamento das oportunidades do mercado.
- Quadrante 2: identifica o nível de debilidade da capacidade ofensiva ao indicar os inconvenientes que podem vir a ser causados pelas fraquezas no aproveitamento das oportunidades.
- Quadrante 3: revela o potencial da capacidade defensiva, ou seja, o quão preparado está o conjunto de forças para rechaçar as ameaças iminentes.
- Quadrante 4: expõe o nível de vulnerabilidade da organização ao revelar o quanto o conjunto de fraquezas pode alargar os efeitos das ameaças.

Este estudo procurou utilizar a metodologia SWOT para analisar possíveis fatores que exercem influência positiva ou negativa no que diz respeito à evolução da penetração da energia eólica no mix energético, sob uma perspectiva ampla e generalista. A partir da informação reunida através da revisão bibliográfica, foram explorados os fatores de diferente natureza, incluindo aspetos tecnológicos, socioeconómicos, políticos e ambientais.

Procurou-se assim gerar uma prospeção do cenário global do desenvolvimento do setor eólico, através do desenvolvimento das duas etapas referidas acima. Em primeiro lugar tendo em conta fatores internos, considerando as fortalezas e fragilidades da energia eólica, e também fatores externos que não dependem do campo da tecnologia em si, como as oportunidade e ameaças presentes no mercado energético. E, em seguida, a segunda etapa que envolve a elaboração do panorama com a formação das quatro abordagens resultantes da interpretação da relação entre os elementos identificados nas categorias da etapa anterior.

É válido ressaltar que a construção da matriz da análise SWOT foi elaborada pelo autor, o que gera alguma dependência na fundamentação da capacidade deste em identificar e relacionar dados e tendências.

2.2 Entrevistas

Para atender aos objetivos do estudo a nível nacional, foi elaborado um conjunto de entrevistas semiestruturadas com atores relevantes do setor eólico em Portugal. A recolha de dados através das entrevistas teve como objetivo observar e interpretar as percepções e motivações dos entrevistados acerca do potencial da penetração da energia eólica no país nos próximos anos.

Nas entrevistas semiestruturadas, o pesquisador seguiu um conjunto de questões previamente definidas, mas o fez num contexto próximo ao de uma conversa informal. Este método faz o uso de uma combinação de perguntas abertas e fechadas, oferecendo ao entrevistado a possibilidade de discorrer sobre o tema proposto. Este tipo de entrevista é indicado quando se deseja delimitar o volume de informação, gerando um direcionamento maior para o tema, a fim de que os objetivos sejam alcançados (Boni & Quaresma, 2005).

As entrevistas têm caráter exploratório e o objetivo principal é a recolha de informações específicas, apesar de eventuais indagações ou levantamento de dados que não estejam contemplados no formulário. Para obter sucesso na execução da entrevista e garantir que as informações desejadas sejam recolhidas, a realização de um plano torna-se essencial (Kauark, Manhães, & Medeiros, 2010).

Inicialmente foram revistos os objetivos principais desta dissertação de forma a direcionar a escolha dos entrevistados e a elaboração das questões a serem abordadas no decorrer das entrevistas, com o intuito principal de se obter a informação desejada.

Procurou-se escolher profissionais renomados e com experiência em diversas áreas de atuação, de modo a formar um grupo de atores com conhecimento profundo e específico sobre os diferentes tópicos abordados nesta pesquisa. Foram realizados ao todo seis contactos com pedido de concessão das entrevistas. Todos os participantes demonstraram motivação e interesse em colaborar com o trabalho após conhecerem o tema e o objetivo do estudo.

Devido às atuais circunstâncias de pandemia global, os contactos foram feitos por correspondência eletrónica e o meio adotado para a realização das entrevistas foi por videoconferência.

De modo a facilitar o processo de registo dos dados a serem analisados, as entrevistas foram gravadas e transcritas, conforme devida autorização concedida pelos entrevistados previamente. As gravações foram realizadas pela própria plataforma de conferência remota (*Zoom Meetings*) e as transcrições pela aplicação *oTranscribe*.

• **Caracterização dos entrevistados**

Apresenta-se a seguir uma lista com uma breve caracterização dos entrevistados. No Anexo 1 encontram-se as respetivas notas biográficas, com uma síntese do percurso profissional de cada um dos atores e destaque das interações mais significativas no que se refere ao tema do estudo.

- Entrevistado (E01): António Sá da Costa

Profissão: Engenheiro

Atividade principal: Especialista em energia e ex-presidente da Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN)

- Entrevistado (E02): José Medeiros Pinto

Profissão: Engenheiro

Atividade principal: Consultor em energia e ex-quadro da APREN

- Entrevistado (E03): Teresa Simões

Profissão: Engenheira

Atividade principal: Investigadora do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia)

- Entrevistado (E04): Jerónimo Viana Borges Meira da Cunha

Profissão: Engenheiro

Atividade principal: Adjunto do Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Energia

- Entrevistado (E05): Ana Estanqueiro

Profissão: Engenheira

Atividade principal: Investigadora do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia)

- Entrevistado (E06): Celso Costa

Profissão: Engenheiro

Atividade principal: Gerente de desenvolvimento de projeto na Voltalia

• Estruturação do Guião

A entrevista semiestruturada é bastante flexível. A sua realização é feita com base num guião com as questões que se pretende abordar para que nenhum dos objetivos seja esquecido e para que se consiga obter a transmissão e recolha das informações desejadas; porém este serve apenas como um instrumento de apoio e não como diretiva rígida, para evitar que se perca a espontaneidade e flexibilidade da conversa.

Segundo Bell (2010), a preparação de uma entrevista deve seguir alguns procedimentos, os tópicos têm de ser selecionados, as questões elaboradas, os métodos de análise devem ser considerados e um plano deve ser preparado. É importante elencar os tópicos de forma a ordenar as perguntas numa sequência que faça sentido. Além do que, é muito importante o cuidado com a forma como se faz as perguntas para se estabelecer uma comunicação fluida com o entrevistado.

Para desenvolver a análise que procura explorar os aspetos que influenciam no potencial da participação do setor eólico na matriz energética portuguesa, foi produzido um guião de entrevistas (Anexo 2), elaborado de maneira que os entrevistados pudessem responder às questões e explorar as suas opiniões sob um diálogo leve e espontâneo.

Assim sendo, foram aprofundados os aspetos considerados mais relevantes dentre aqueles identificados na análise inicial, de modo a abranger domínios diversos para uma perceção das diferentes dimensões do problema exposto. Para auxiliar o processo de elaboração e execução das entrevistas o conteúdo foi trabalhado por tópicos apresentados a seguir:

- Cumprimento das metas políticas no atual contexto
- Obstáculos no processo de licenciamento
- Fim de vida útil dos aerogeradores em uso
- Controle e mitigação dos impactes ambientais
- Desafios da integração de energia variável na rede elétrica
- Perspetivas de projetos híbridos envolvendo outras fontes renováveis e/ou produção de hidrogénio verde
- Potencial de exploração da energia eólica offshore
- Potencial da microgeração doméstica com uso de microturbinas

O entrevistador empenhou-se em deixar os entrevistados à-vontade para responder às perguntas e assim conseguir extrair o conteúdo direcionado ao objetivo. É importante salientar que o guião foi utilizado somente para auxiliar no direcionamento das perguntas e no ordenamento dos temas abordados. Em alguns casos, por exemplo, os entrevistados – que tinham conhecimento prévio dos tópicos – optaram por discursar livremente sobre os temas sem a necessidade de aplicação do questionário. Por uma limitação de tempo de duração das entrevistas nem todas as perguntas foram feitas a todos os entrevistados, contudo a conversa foi direcionada de modo a aprofundar com cada um dos atores os temas em que estes se sentiam mais confortáveis em abordar.

- **Análise de conteúdo**

O contributo oferecido pela experiência e conhecimento dos profissionais, e recolhido através da execução das entrevistas, será investigado por meio de uma análise de conteúdo que busca explorar as percepções e motivações dos diferentes atores entrevistados.

Segundo Bardin (2010), a análise de conteúdo é uma técnica de análise das comunicações que procura o encontro de indicadores que possibilitem a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção ou de receção das mensagens. Esta ferramenta utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo dessas mensagens. A análise de conteúdo é uma aliada para a superação de incertezas e possibilita a compreensão da mensagem para além dos seus significados imediatos.

A análise de conteúdo segue a abordagem proposta por Silva, Ivete, & Fossá (2015). Estes autores sintetizam as principais etapas, definidas por Bardin (2010), para a execução da análise de conteúdo: (1) Pré-análise: compreende a estruturação do material recolhido e a sistematização das ideias iniciais que servirão de base para a análise; (2) Exploração do material: consiste na execução da sistemática estabelecida na fase anterior, de acordo com uma classificação/categorização do conteúdo reunido; (3) Tratamento dos resultados e interpretação: envolve a captação dos conteúdos manifestos e latentes de todo o material recolhido. A análise comparativa é feita através da justaposição das diversas categorias, salientando tanto os aspetos tidos como semelhantes quanto os considerados como diferentes.

2.3 Análise de Projetos

Nesta última fase, são escolhidos dois elementos que foram identificados com destaque ao longo do desenvolvimento deste estudo, de modo a serem explorados com maior detalhe através da análise de projetos concretos. Neste sentido, apresenta-se a investigação de um projeto de repotenciação de uma central eólica localizada no norte de Portugal, e um projeto de tecnologia portuguesa que se trata de um sistema híbrido eólico-solar autónomo e inteligente de iluminação pública.

- **Projeto de Repotenciação da Central Eólica do Vergão**

O primeiro elemento trata-se da análise do projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão, localizada no distrito de Castelo Branco na região Centro de Portugal. A Central Eólica do Vergão entrou em funcionamento no final do ano de 2003 e tem como entidade promotora a empresa Generg. Foi uma das primeiras centrais eólicas do país a beneficiar de um projeto de repotenciação, ocorrido no ano de 2018 quando foi feita a substituição de dez aerogeradores de 1,3 MW do modelo

Nordex N62 por cinco de 2,4 MW do modelo Nordex N17, totalizando os atuais 12 MW de capacidade instalada.

A justificativa da escolha da repotenciação como um tema a ser explorado deve-se à sua importância ao ser reconhecida como estratégia nacional de reforço do setor eólico no país e pelo seu papel no cumprimento das metas do PNEC, tendo em vista o significativo número de empreendimentos eólicos que estão a atingir o fim de sua vida útil e a grave diminuição que poderá afetar o setor, caso não haja investimento no reaproveitamento da frota existente.

A escolha da Central Eólica do Vergão como objeto desta análise deve-se pelo facto de se tratar de um dos primeiros projetos deste tipo executado no país e pela facilidade de contacto com a entidade promotora, por se tratar de uma empresa com representantes que mantêm ligação com um dos stakeholders entrevistados e que se ofereceu para conciliar esta comunicação. De acordo com a base de dados publicada por INEGI & APREN (2018), somente três centrais eólicas foram submetidas ao processo de repotenciação em Portugal, além da Central do Vergão em 2018, as centrais de Picos Verdes (Faro) e Vila Lobos (Viseu) no ano de 2017.

A análise procura explorar diversos fatores desde a justificação do projeto, ao procedimento de legalização, à evolução do desempenho em termos de produção de energia, além dos aspetos financeiros e ambientais. Pretende-se compreender a problemática envolvida na execução de um projeto de repotenciação sob as condições do atual cenário do setor eletroprodutor e verificar fatores identificados pelos entrevistados como possíveis obstáculos a esta aplicação que é uma das mais importantes estratégias de reforço do potencial eólico do país.

Para a realização deste estudo, a entidade promotora foi contactada através de mensagens de correio eletrónico e de uma reunião por videoconferência. O contacto foi estabelecido com o responsável pelo departamento eólico da Generg. Foi também disponibilizado como material para obtenção de dados uma apresentação sobre o projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão, intitulada “*Repowering a Wind Farm: Vergão WF as a case study*” exibida numa conferência realizada pela APREN e pelo *Wind Energy and Biodiversity Summit (WIBIS)*: “*Redesigning wind energy for the next era*”. O contacto via correio eletrónico solicitou à empresa respostas a algumas questões e o questionário e as suas respetivas respostas podem ser lidos na íntegra no Anexo 3.

- **Sistema inteligente híbrido eólico-solar para iluminação pública**

O segundo elemento a ser explorado trata-se de uma tecnologia nacional inovadora, um poste de luz sustentável e inteligente com sistema híbrido alimentado por fonte eólica e solar. Esta solução é apresentada como uma interessante aplicação da hibridização e do uso de microturbinas eólicas para produção de energia em meios urbanos.

Procurou-se explorar aspetos da elaboração deste dispositivo no empenho para ultrapassar e amenizar os problemas identificados neste estudo para o aproveitamento do potencial eólico em ambientes edificados.

A empresa responsável pelo desenvolvimento desta tecnologia foi contactada através de correio eletrónico e chamadas telefónicas, contudo por questões de indisponibilidade de tempo a equipa não foi capaz de colaborar com a obtenção de dados específicos adicionais. A informação apresentada foi recolhida através de pesquisa exploratória do conteúdo disponível na Internet, no site da empresa, nas suas redes sociais e em páginas de notícias.

3. Estado da Arte

3.1 O contexto da problemática ambiental

Nas últimas décadas, diversas ações foram tomadas de modo a promover o desenvolvimento sustentável: em 1992 foi criada a Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD); no ano de 1988 foi fundado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC); em 1997 foi estabelecido o Protocolo de Kyoto, com metas de redução da emissão de gases de efeito estufa (Macedo, 2016).

Firmado em 2015, o Acordo de Paris traçou como objetivo a contenção máxima de 2° C para o valor do aumento da temperatura média global no longo prazo, tendo a comunidade internacional se comprometido em persistir com o máximo empenho para que esse valor não ultrapasse 1,5° C, valor tido como limite máximo para manutenção da sobrevivência do planeta, sem que haja alterações irremediáveis (Governo de Portugal, 2019).

A União Europeia (UE) declarou repetidamente o seu objetivo de estar na vanguarda da ação global contra as mudanças climáticas, no entanto, não conseguiu reduzir de forma convincente as suas emissões de gases com efeito de estufa. Neste contexto, Ursula von der Leyen, presidente da Comissão Europeia, prometeu ampliar e fortalecer a política climática da UE através da articulação do Acordo Verde Europeu (*European Green Deal*), que propõe a Lei Europeia do Clima, exigindo que a UE se torne o primeiro continente neutro em termos climáticos até 2050 (Claeys, Tagliapietra, & Zachmann, 2019).

O desenvolvimento e a consolidação da energia eólica é um dos elementos essenciais para se alcançar um *mix* energético com a capacidade de cumprir as metas climáticas, de modo a transformar o sistema energético e auxiliar na redução das emissões de CO₂ para conter o aumento da temperatura da Terra (IEA Wind, 2019).

3.2 Progressos da energia eólica no mundo

3.2.1 Capacidade instalada

Em termos de capacidade instalada total, a energia eólica é a principal tecnologia de energia renovável após a energia hidrelétrica, com mais de meio *terawatt* instalado globalmente. A evolução da indústria eólica tem sido notável e, nas últimas quatro décadas, muitos progressos foram alcançados em instalações, avanços tecnológicos e redução de custos, juntamente com a fundação de importantes associações no setor da energia eólica (IRENA, 2019a).

No fim do ano de 2020 a capacidade instalada de energia renovável global era de 2.799 GW. A Figura 3-1 ilustra a capacidade de produção renovável instalada globalmente por fonte de energia. A hidreletricidade representou a maior parcela do total global, com uma capacidade de 1.211 GW. A energia eólica representou 733 GW e a solar 714 GW. Outras energias renováveis incluem 127 GW de bioenergia e 14 GW de geotérmica, além de 500 MW de energia marinha (IRENA, 2021).

Renewable generation capacity by energy source

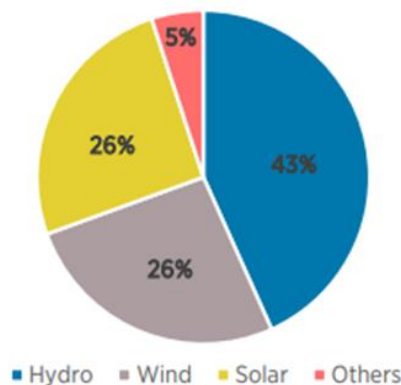


Figura 3-1 Capacidade de produção renovável instalada globalmente por fonte de energia (IRENA, 2021)

De acordo com o mais recente relatório “*Global Wind Report*” publicado pelo *Global Wind Energy Council* obtiveram-se os seguintes números (GWEC, 2020):

- Em 2019 foram instalados no mundo 60,4 GW de capacidade de energia eólica, registando um aumento de 19% em relação às instalações do ano de 2018 e o segundo melhor ano para o vento, historicamente.
- Atualmente a capacidade total de energia eólica instalada no mundo ultrapassa 651 GW, um aumento de 10% em relação a 2018.
- Estados Unidos da América e China seguem como os maiores mercados eólicos *onshore* do mundo, representando juntos mais de 60% da nova capacidade, em 2019.
- A energia eólica *offshore* desempenha um papel cada vez mais expressivo, com o setor instalando um recorde de 6,1 GW em 2019.
- Ásia-Pacífico ocupa a primeira posição no *ranking* do mercado *onshore* regional com 27,3 GW instalados em 2019.
- O desenvolvimento de mercados em África, no Oriente Médio, na América Latina e no Sudeste Asiático, mostrou estabilidade e também crescimento espetacular, com instalações combinadas de 4,5 GW em 2019.

Desde 2014, as novas instalações de produção de energia eólica superam os 50 GW a cada ano, apesar dos altos e baixos em alguns mercados. O ano de 2018 foi um bom ano para a indústria eólica global, com 51,3 GW de nova energia eólica instalada, uma ligeira queda de 4,0% em relação a 2017, mas ainda assim um ano forte. A Figura 3-2 exhibe os números da capacidade eólica mundial instalada e o crescimento anual no período entre 2008 e 2018 (GWEC, 2019).

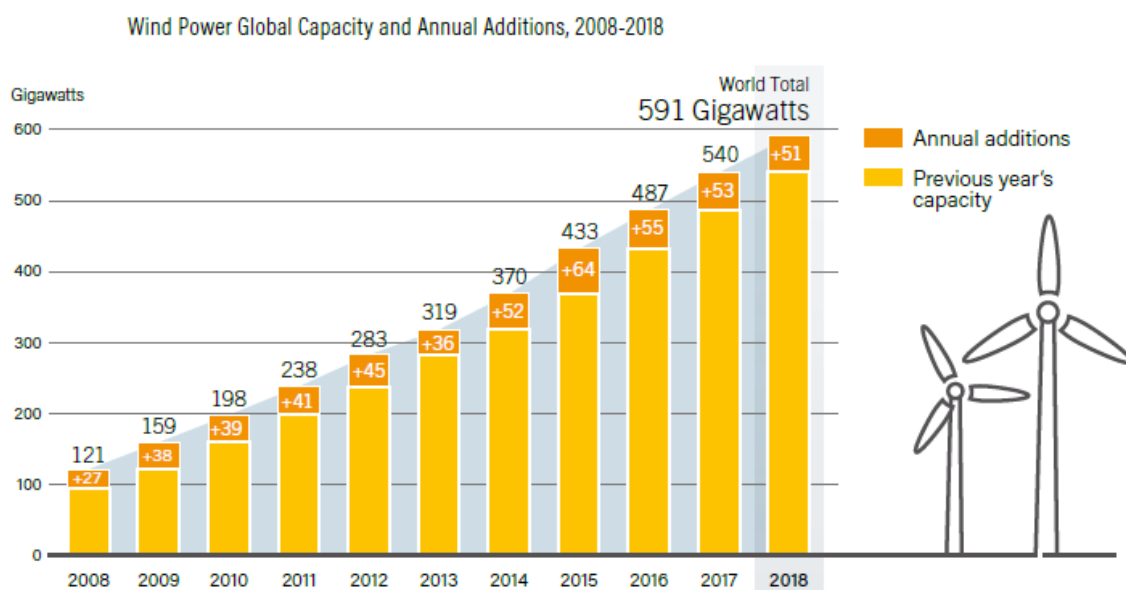


Figura 3-2 Capacidade eólica mundial instalada e crescimento anual 2008 – 2018 (GWEC, 2019 apud REN21, 2019, p. 118)

A Europa instalou uma nova capacidade de energia eólica de 15,4 GW em 2019, o que representa um aumento de 27% em relação ao ano de 2018, porém uma diminuição de 10% em relação ao recorde obtido em 2017. A capacidade total de energia eólica instalada atualmente é de 205 GW. No ano de 2019, a Espanha instalou mais de 2,2 GW de capacidade em novos parques eólicos, em contrapartida a Alemanha registou uma forte queda em novas instalações e investimento. A Figura 3-3 indica os valores das novas instalações eólicas *onshore* e *offshore* na Europa no ano de 2019 (Wind Europe, 2020).

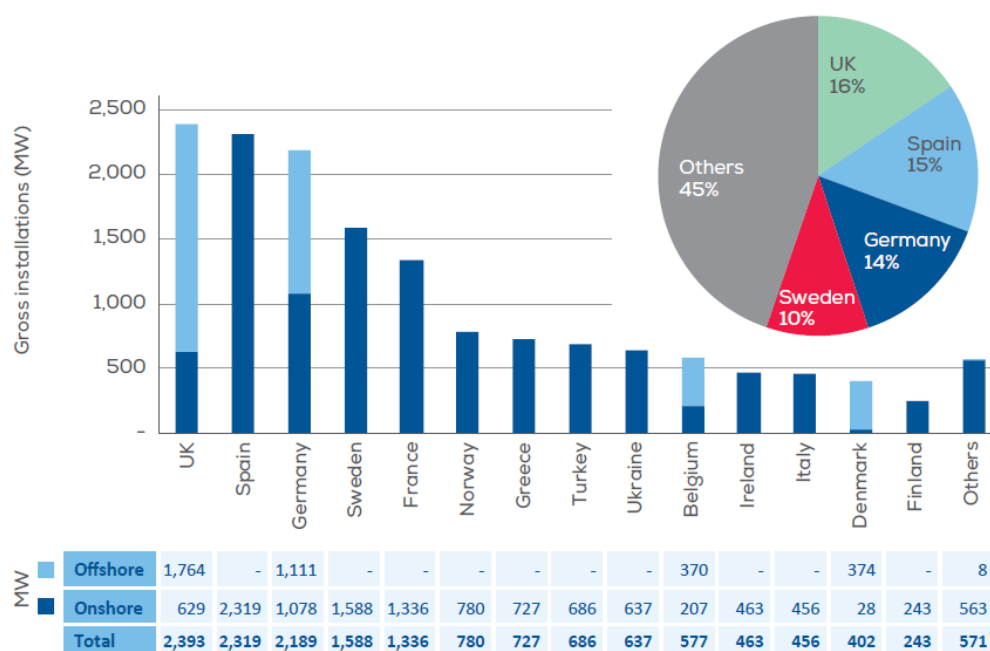


Figura 3-3 Novas instalações eólicas *onshore* e *offshore* na Europa 2019 (Wind Europe, 2020)

A energia eólica continua a aumentar constantemente a sua participação no *mix* energético. Em 2018, a eletricidade proveniente da energia eólica atingiu quase 5,6% do consumo mundial. A Figura 3-4 exibe os valores dos percentuais do consumo de eletricidade atendido pela energia gerada a partir do vento, ao longo dos últimos anos, numa série de países, dos quais se destacam a Dinamarca, a Irlanda, a Espanha e Portugal (IEA Wind, 2019).

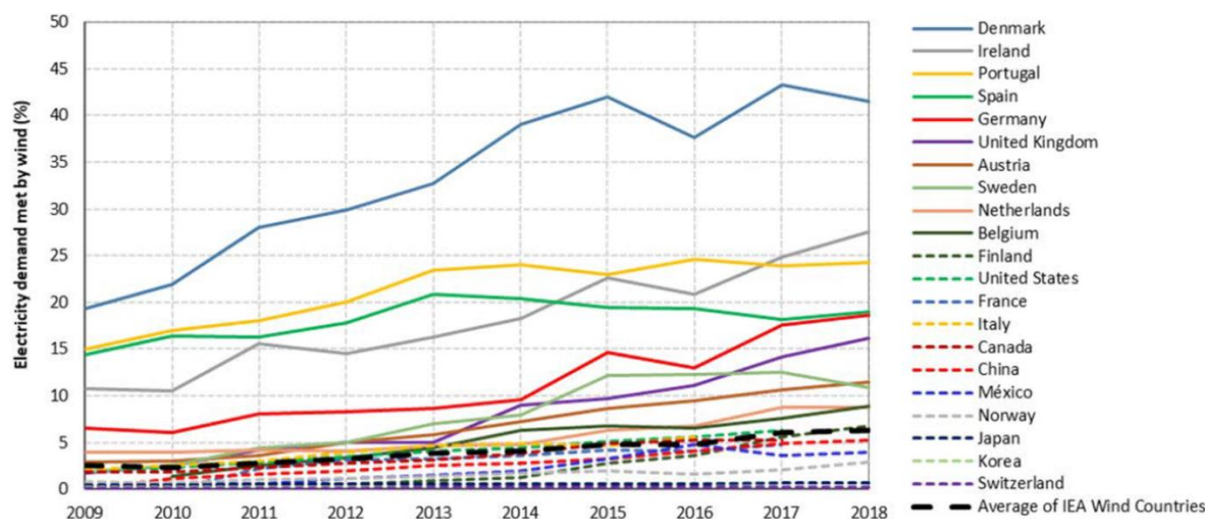


Figura 3-4 Consumo nacional de eletricidade atendido por energia eólica (IEA Wind, 2019)

As instalações de energia eólica em diversos países do mundo cresceram muito nos últimos anos, a energia eólica firmou-se entre as principais tecnologias de energia renovável em pouco tempo, graças ao desenvolvimento tecnológico e aos mecanismos de apoio. Este crescimento observado corrobora a transição energética mundial em marcha, visando um futuro baseado em geração de energia sustentável (Rebelo, 2019).

- **Oportunidade de repotenciação de centrais eólicas com idade próxima ao fim de vida útil dos aerogeradores**

Perante o cenário de crescente e contínuo do desenvolvimento do setor eólico observado nas últimas décadas, é importante destacar um aspeto relevante. Por norma, os aerogeradores são projetados para terem uma longevidade entre os 20 e os 25 anos, podendo surgir assim eventuais perdas de ativos no potencial instalado caso não sejam tomadas ações de reaproveitamento.

À medida que a vida útil dos parques eólicos se aproxima do seu fim, surge a oportunidade de repotenciá-los. A repotenciação envolve a utilização do mesmo local e a substituição das antigas turbinas eólicas por novas, criando assim uma oportunidade de aumento da capacidade de produção de energia do parque eólico aproveitando as estruturas já existentes (Martínez, Latorre-Biel, Jiménez, Sanz, & Blanco, 2018). Uma parte substancial da capacidade eólica mundial instalada chegará ao fim da sua vida útil entre 2020 e 2030. Portanto, em muitos países é necessário um quadro regulamentar para acelerar a permissão de projetos de repotenciação. Na Europa, é previsto que 50% da capacidade instalada cumulativa atual atinja o fim da sua vida operacional até ao ano de 2030 (IEA Wind, 2019).

- **Perspetivas e a crise da pandemia do Coronavírus**

Segundo GWEC (2020), no início de 2020, as perspetivas para o mercado eólico global acreditavam que seria um novo ano recorde, com instalações de 76 GW. No entanto, enquanto ainda completavam o cenário, o mundo todo, e com ele o setor eólico, foi duramente atingido pelo novo Coronavírus e a pandemia da doença COVID-19. Face à atual situação, não é possível prever quando o vírus estará controlado e tão-pouco quantificar o impacto da pandemia e da recessão económica iminente nas instalações globais de energia eólica em 2020 e além.

A pandemia da COVID-19 levará a uma redução no consumo de energia deste ano em todas as regiões do mundo. As indústrias petrolíferas e de produtos petrolíferos são os setores energéticos mais afetados. No setor das energias renováveis foi observado um impacto relativamente fraco, contudo, ainda não é possível determinar se a epidemia é uma oportunidade ou um desafio para a futura transição energética (Cui et al., 2020).

3.2.2 Metas políticas

A produção e o consumo de energia continuam a ser um ponto focal e crucial nos esforços globais para enfrentar as mudanças climáticas. Através de políticas voltadas à mitigação e adaptação, as tecnologias de energias renováveis recebem apoios diretos e indiretos. Mecanismos diretos incluem metas específicas de fontes renováveis definidas por meio de estratégias nacionais de redução de emissões de CO₂, como os chamados INDCs (*Intended Nationally Determined Contribution*), referentes aos contributos nacionais na redução global de emissões de GEE. Aproximadamente, três quartos dos INDCs referem-se especificamente às energias renováveis como ferramentas para mitigar as mudanças climáticas e mais de metade estabelece metas de energia renovável (REN21, 2019).

Devido à sua ampla disponibilidade global de recursos, a energia eólica tem um enorme potencial. Estima-se que 95 *terawatts* de capacidade ainda sejam instalados em terra, ademais a energia eólica *offshore* tem um potencial ainda maior, além de gerar menor impacto ambiental. Alguns países introduziram apoios financeiros à energia eólica, como tarifas de alimentação, para garantir renda e reduzir o risco do investidor. Entretanto, obstáculos críticos à energia eólica incluem longo tempo de espera e imprevisibilidade para permissão e autorização dos projetos. Para reduzir estes riscos, os legisladores de políticas podem introduzir sistemas regulatórios apropriados e definir um cronograma específico e previsível para o processo administrativo (IRENA, 2016).

O governo de França, por exemplo, criou um plano para acelerar o desenvolvimento de projetos de produção de energia eólica no país, com a meta de dobrar sua capacidade instalada da fonte até 2023. O plano propõe reformas que visam simplificar os procedimentos de aprovação. Há uma forte oposição de ambientalistas a estes projetos, sobretudo devido aos impactos ambientais gerados, que se aproveitam dos prazos de aprovação largados para impedir tais licenciamentos. Esta

barreira administrativa é um ponto em que muitas empresas esbarram e deixam cair os seus projetos eólicos (Portal Energias Renováveis, 2018).

As metas das energias renováveis desempenham um papel crucial no cenário global de energia, fornecendo uma visão geral das tendências do mercado e indicando a trajetória prevista da sua implantação, ajudando assim a ancorar as expectativas de médio e longo prazo. Desta forma, podem indicar um sinal importante para a indústria com o direcionar das oportunidades futuras de crescimento e ajudar a alinhar as partes interessadas, criando uma visão comum mais clara para o desenvolvimento do setor energético renovável (IRENA, 2015).

Para além de estabelecerem metas para as fontes de energia renovável e para a energia eólica, muitos países projetam mecanismos de mercado, promulgam políticas de energia e financiam pesquisas. A Tabela 3-1 expõe as principais metas nacionais para a energia eólica, estabelecidas pelos governos de alguns países membros do *IEA Wind TCP* (IEA Wind, 2019).

Tabela 3-1 Metas das políticas nacionais de produção de energia eólica (adaptado e traduzido de IEA Wind, 2019)

País	Metas Nacionais para a Energia Eólica	Capacidade Total de Energia Eólica em 2018 (MW ou GW), Contribuição à Demanda Anual(%), ou Produção anual (TWh)
Alemanha	Onshore: leilões regulares de 2,8 GW em 2018; 2,675 GW em 2019; 2,7 GW em 2020; 2,65 em 2021; 2,9 GW/ano a partir de 2022; mais 1,0 GW em 2019; 1,4 GW em 2020; 1,6 GW em 2021 Offshore: 15 GW até 2030	58,9 GW, 18,6%, 111TWh
Austria	3.000 MW até 2020 (desde 2012)	3.045 MW
Bélgica	3.000MW onshore até 2020 e 2.741 MW offshore	3.169 MW (1.983 MW onshore e 1.186 MW offshore)
China	210 GW até 2020	209,5 GW (rede conectada: 184 GW)
Dinamarca	Contribuição de 50% da demanda anual de energia até 2020	41,70%
Espanha	35 GW até 2020	23,5 GW
Estados Unidos	Reduzir o custo da energia eólica onshore para US \$ 0,06 / kWh sem incentivos até 2020 e reduzir o modelo de offshore a US \$ 0,20 / kWh) até 2030	---
Finlândia	6-6.5 TWh/ano até 2020; 9 TWh/ano até 2025	5,9 TWh
França	Onshore: 15 GW até 2018; 24,5 GW até 2023 Offshore: 0,5 GW até 2018; 2,4 GW até 2023	onshore: 15,12 GW e offshore: 0,002 GW
Irlanda	3,5 GW até 2020	3,7 GW
Itália	12 GW onshore e 0,68 GW offshore até 2020 e 18,4 GW onshore e 0.9 GW offshore até 2030	10 GW onshore
Japão	10 GW até 2030	3,7 GW
Portugal	5,3 GW onshore e 0,027 GW offshore até 2020	5,4 GW
Reino Unido	Nenhuma meta específica, previsão de 20 GW até 2020	21,7 GW
Suécia	30 TWh até 2020 (20 TWh onshore, 10 TWh offshore)	16,4 TWh
Suíça	0,6 TWh até 2020, 4 TWh até 2050	0,12 TWh
União Europeia	486 TWh até 2020	363 TWh

Definir metas de energia renovável nem sempre é um processo científico e sequencial. Em alguns países, o processo de definição de metas foi muito abrangente, começando com uma avaliação da disponibilidade e dos custos dos recursos, equilibrando custos com benefícios e objetivos gerais, envolvendo uma ampla gama de partes interessadas antes de decidir o nível e tipo de alvo. Em outros casos, as metas de energia renovável foram definidas com base em processos menos rigorosos e interesses específicos das partes interessadas. Como cada país é moldado por diferentes dinâmicas e condições, não existe uma metodologia genérica para estabelecer metas de energia renovável (IRENA, 2015).

O Acordo Verde Europeu, baseado na busca pela ampliação e fortalecimento da política climática da União Europeia, pretende tornar a Europa o primeiro continente neutro em carbono através da chamada Lei Europeia do Clima. Para alcançar este objetivo é necessária uma estrutura política abrangente, envolvendo aspetos industriais, económicos e sociais além do clima, energia e meio ambiente. As propostas preliminares incluem um aumento na redução de emissões da EU, a introdução de um imposto de fronteira de carbono, a elaboração de um Plano de Investimento da Europa, a transformação parcial do Banco Europeu de Investimento em um banco climático, a extensão do sistema de comércio de emissões da UE e o desenvolvimento de uma nova política industrial para a Europa (Claeys, Tagliapietra & Zachmann, 2019).

Na Europa, muitos países elaboraram Planos Nacionais de Energia e Clima para o período de 2021 a 2030, os quais se fazem necessários para o cumprimento das novas metas de energia e clima da UE para 2030, que incluem o fornecimento de 32% do consumo total de energia proveniente de fontes de energias renováveis (FER). As metas para produção de eletricidade através de fontes renováveis estão a ser instituídas em vários países e em alguns estados dos Estados Unidos da América. A Suécia estabeleceu uma meta de 100% de eletricidade por FER até 2040, seguida por uma meta de zero emissões líquidas de gases de efeito estufa até 2045, e a partir de então o país deve atingir emissões negativas (IEA Wind, 2019).

Os Planos Nacionais de Energia e Clima (PNEC) cobrem as cinco dimensões da união energética: 1) segurança energética, que implica a redução da dependência energética e da importação de energia, a diversificação de fornecedores de energia e aumento da flexibilidade do sistema energético; 2) mercado interno de energia, que inclui a expansão e o fornecimento da infraestrutura de transmissão de energia; o fornecimento da operação do mercado interno de energia e a diminuição da pobreza energética; 3) eficiência energética, que pressupõe a redução do uso de fontes primárias de energia, redução do uso de energia no consumo final de energia bruta e estratégia de longo prazo de renovação de edifícios; 4) descarbonização da economia, que confere na redução da emissão de gases de efeito estufa; 5) pesquisa, inovação e competitividade, envolvendo pesquisa pública e privada, promoção de tecnologias de energia limpa e melhoria da competitividade (Zigurs et al., 2019).

3.2.3 Benefícios sociais

As energias renováveis geram múltiplos benefícios socioeconómicos, dos quais se destacam: inovação tecnológica, desenvolvimento da indústria, a facilitação do acesso à energia, desenvolvimento regional e local e a criação de empregos. O incentivo à produção de energia limpa é uma prática que ao ser aplicada em conjunto com outras políticas sociais traz imensa colaboração para o desenvolvimento das comunidades, especialmente em zonas rurais (Simas & Pacca, 2013).

A energia eólica pode ser um importante fator económico que cria emprego sustentado, receita tributária e oportunidades de investimento. Pode inclusive melhorar o equilíbrio comercial entre os

países através da diminuição das importações de combustíveis fósseis. O emprego é gerado durante toda a vida útil de uma central eólica, mais intensamente durante o projeto e a construção, mas também durante as etapas de operação, manutenção e desativação. Muitos países como a Bélgica, o Canadá, a França, a Noruega, a Espanha e o Reino Unido reportam emprego contínuo relacionado à produção de turbinas eólicas e outros componentes na cadeia de suprimentos (IEA Wind, 2019).

Em todo o mundo, o número de empregos em energias renováveis, em todos os ramos de atuação – pesquisa e desenvolvimento, projetos, engenharia, instalação, operação e manutenção – está em crescimento e atingiu um número estimado de 11 milhões até ao final de 2018. A oportunidade de criar mais empregos locais podem estimular os governos a instituir políticas de suporte às energias renováveis. A Tabela 3-2 expõe os números estimados de empregos diretos e indiretos na energia eólica entre 2017 e 2018 em alguns países e no mundo (REN21, 2019).

Tabela 3-2 Empregos diretos e indiretos na energia eólica 2017-2018 (adaptado de REN21, 2019)

	Brasil	China	Estados Unidos	Índia	União Europeia	Mundo
Empregos diretos e indiretos na energia eólica 2017-2018 (em 10 ³)	34	510	114	58	314	1.160

Segundo Llera Sastresa, Usón, Bribián & Scarpellini (2010), duas abordagens podem ser utilizadas de modo a aumentar a criação de empregos locais. Primeiro, a busca por inovação, que leva o desenvolvimento tecnológico ao nível regional e cria empregos estáveis e de alta qualificação. Em segundo, o investimento em capacitação na busca do aumento do número de trabalhadores locais nas fases de instalação e descomissionamento, a fim de reduzir a quantidade de mão-de-obra não local.

De acordo com Simas & Pacca (2013), é imprescindível a utilização de políticas públicas que gerem o aumento, ou ao menos a manutenção do volume de projetos instalados a cada ano, uma vez que a grande maioria dos empregos gerados pela energia eólica são de caráter temporário.

Para além dos benefícios relacionados com as soluções de suprimento, acessibilidade e segurança energética sustentável e da criação de emprego, a energia eólica também gera uma importante contribuição na diminuição da pegada de emissões de CO₂. Em muitos países, o vento é o maior contribuinte entre as fontes renováveis para a economia em taxas de emissões de carbono, dentre os quais destacam-se a Dinamarca, a Alemanha, a Irlanda, a Espanha e o Reino Unido (IEA Wind, 2019).

3.2.4 Custo nivelado de eletricidade

Para que a transição energética e as metas climáticas sejam alcançadas é necessário um crescimento acelerado das energias renováveis, nomeadamente da energia eólica. O avanço na

construção de nova capacidade eólica está constantemente aquém do necessário. É preciso que os obstáculos sejam trabalhados para oferecer esse preciso progresso num curto período de tempo. Neste sentido, o *design* do mercado deve ser adaptado para permitir o crescimento acelerado da implantação da energia renovável (GWEC, 2020).

A indústria eólica tem alcançado uma crescente maturidade, custos cada vez mais competitivos e maior eficiência, além de se destacar numa das medidas mais importantes no setor de energia, o custo nivelado de eletricidade, do inglês *Levelized Cost of Electricity* (LCOE). O LCOE é uma medida comum de definição do custo da energia, eólica ou de outras fontes, e é também muito utilizado para avaliar metas e níveis de apoio do setor. A Figura 3-5 mostra a evolução do LCOE da energia eólica *onshore* e *offshore* entre os anos de 2010 e 2018 (GWEC, 2019).

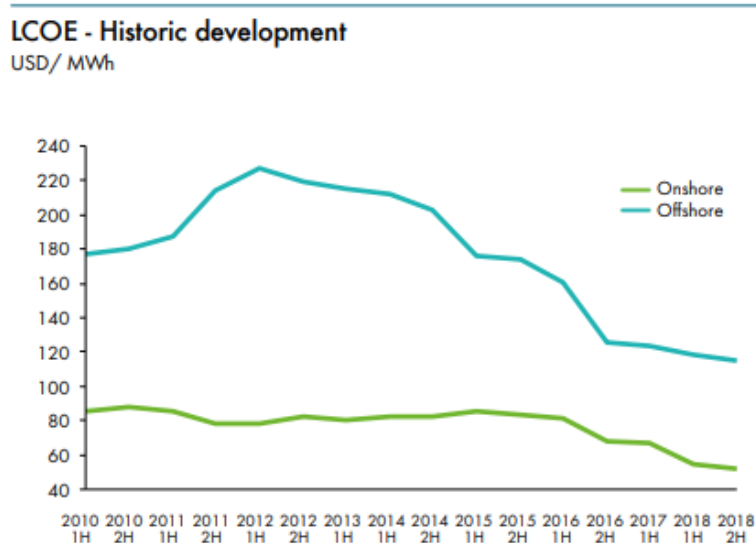


Figura 3-5 Evolução histórica do LCOE (GWEC, 2019)

Reduções consideráveis no LCOE tornaram a energia eólica uma das opções mais baratas para produção de energia. Baixos preços do mercado de eletricidade foram relatados como um resultado positivo da implantação da energia eólica em Portugal, Alemanha e Dinamarca. Todavia, na Noruega e na Suécia, os baixos preços do mercado de eletricidade e dos certificados verdes resultaram numa receita muito baixa para os produtores de energia eólica e preços mais baixos aumentaram a necessidade de mecanismos de apoio financeiro. Deste modo, incentivar o investimento em energia eólica tem sido um importante instrumento usado para aumentar sua implantação (IEA Wind, 2019).

Apesar da tendência favorável dos resultados de LCOE para as energias de fontes renováveis, em comparação com a geração nuclear ou fóssil, segundo GWEC (2020), os legisladores de políticas não devem focar-se apenas no LCOE, mas também abordar aspetos de estrutura e regulamentação política, que se fazem necessários para apoiar a transição energética, envolvendo a criação de um ambiente propício para a instalação da capacidade no ritmo necessário e enviar os sinais de mercado estratégico: adoção de sistema de valores para fontes de energia, estruturação dos mercados para

garantir remuneração adequada para cada uma das fontes e mobilização de financiamento para a renovação das redes.

O *design* de mercado deve adotar uma abordagem de sistema baseado no valor – a soma líquida de impactos positivos e negativos de todas as fontes de energia – para aumentar a penetração da energia renovável na matriz energética, garantindo confiabilidade e flexibilidade fundamentais para o cumprimento das metas de energia e clima, nacionais e internacionais. Esta abordagem redireciona o foco dos custos de integração e infraestrutura de rede para os benefícios cruciais dos sistemas de geração eólica como a redução dos impactos ambientais e emissão de poluentes (GWEC, 2020).

3.2.5 Tendências do mercado

Nos últimos anos foi observada uma tendência contínua de passagem dos antigos sistemas de subsídios para leilões, que em muitos casos eram baseados no mercado de eletricidade ou noutros casos, neutros em termos de tecnologia. Alguns países, entre eles a China, a Dinamarca e a Finlândia, apresentaram em 2018, as suas primeiras licitações para produção de energia eólica. Irlanda, Itália e Reino Unido publicaram planos para licitações em 2019. Os leilões de capacidade *onshore* e *offshore* continuaram a tendência de redução de custos, com preços recorde registados no Canadá, na Dinamarca, na Finlândia e no México (IEA Wind, 2019).

O financiamento corporativo por meio de contratos de compra de energia, os chamados *Power Purchase Agreements* (PPAs), continuou a aumentar em alguns países da Europa e nos Estados Unidos da América. Projetos de PPA de energia eólica sem subsídios foram divulgados na Dinamarca, na Espanha e na Finlândia, indicando que a operação sem subsídios está a tornar-se uma realidade. Espera-se que a China, a Noruega e os Estados Unidos da América passem a operar plenamente o mercado de centrais eólicas depois que os seus atuais sistemas de subsídios terminem ainda neste ano de 2021 (IEA Wind, 2019).

Com a energia eólica a melhorar cada vez mais sua competitividade de custos, o acordo bilateral, na forma de PPAs corporativos, por exemplo, não apenas manterá o ímpeto em mercados maduros como os mercados nórdicos, os EUA, o Brasil, o Chile e a Argentina, como também fará avanços em mercados emergentes em crescimento, como no caso do Sudeste Asiático (GWEC, 2020).

Após a queda acentuada do LCOE e a aceleração da transição energética global, as perspectivas de mercado para a indústria eólica global permanecem positivas. A taxa composta anual de crescimento (ou CAGR, do inglês *compound annual growth rate*) para os próximos cinco anos é de 4%. Espera-se que mais de 355 GW de nova capacidade sejam adicionados, representando cerca de 71 GW de novas instalações a cada ano, até 2024 (GWEC, 2020).

3.2.6 Desenvolvimento tecnológico

A energia eólica é caracterizada por instalações estáveis, preços cada vez mais atrativos e crescente interesse pela produção *offshore*. Embora a queda dos preços esteja a ajudar a mover a energia eólica para novos mercados e a aumentar as vendas, o uso de mecanismos mais competitivos, como leilões e licitações, resultou numa intensa concorrência de preços, que está a espremer toda a cadeia de valor e a desafiar os fabricantes e desenvolvedores de turbinas eólicas. O setor enfrenta estes desafios com os avanços tecnológicos contínuos, incluindo turbinas maiores, que geram maior produção de energia, aumentam a eficiência do sistema e reduzem o LCOE da energia eólica (REN21, 2019).

As turbinas eólicas modernas observaram avanços rápidos na sua tecnologia subjacente, a fim de aumentar a sua competitividade. O desenvolvimento futuro da energia eólica apresenta uma oportunidade significativa em termos do fornecimento de energia com baixo carbono, no entanto, também enfrenta alguns desafios. A expectativa atual é de que os próximos desenvolvimentos sejam livres de subsídios, pelo que é preciso que a tecnologia seja competitiva, em termos de custos, em comparação com o uso de combustíveis fósseis e outras fontes de energias renováveis concorrentes, sobretudo a solar fotovoltaica (Watson et al., 2019).

As pás de uma turbina eólica convertem a energia cinética do movimento do ar em energia rotacional e através de um gerador, essa energia rotacional é convertida em eletricidade por indução eletromagnética. A energia eólica gerada é proporcional à área varrida pelo rotor e ao cubo da velocidade do vento. Nos últimos anos manteve-se a tendência do aumento do tamanho das turbinas eólicas e a capacidade média das novas turbinas conectadas à rede elétrica teve um aumento expressivo no mesmo período (IRENA, 2016).

A redução dos custos da energia eólica é impulsionada principalmente pelos avanços na tecnologia das turbinas. Os principais parâmetros que indicam os avanços tecnológicos dos aerogeradores são o diâmetro do rotor e a altura do cubo para produzir mais energia, mesmo em áreas com velocidades de vento mais baixas. Rotores maiores ajudam a diminuir a potência específica, o que eventualmente aumenta os fatores de capacidade e gera maior acessibilidade ao vento. A Figura 3-6 ilustra as melhorias tecnológicas consolidadas e inovações expectáveis rumo a uma maior capacidade das turbinas eólicas. O tamanho máximo das turbinas implementadas em 2018 era de 4,3 MW, contra 3,3 MW em 2015 (IRENA, 2019a).

Em 2017, o fabricante LM-GE testou uma lâmina de 88,4 m. O próximo marco de tamanho para turbinas *offshore* é a lâmina de 107 m, projetada para caber na turbina GE Haliade-X de 12 MW e 220 m. Espera-se que esteja disponível comercialmente ainda em 2021. Os parques eólicos *offshore* flutuantes continuam a evoluir em direção à maturidade comercial. O projeto Fukushima FORWARD II-Hitachi do Japão, que começou a operar em março de 2017, apresenta uma turbina eólica de 5 MW construída num flutuador avançado do tipo longarina. Em 2018, um novo parque eólico *offshore* flutuante, Hywind, iniciou operações na costa da Escócia. Os avanços tecnológicos impulsionam

tendências de melhorias no longo prazo, mas são detetadas flutuações na produção, que resultam de variações anuais de recursos eólicos, idade da frota e retirada de serviço de algumas turbinas (*curtailment*) (IEA Wind, 2019).

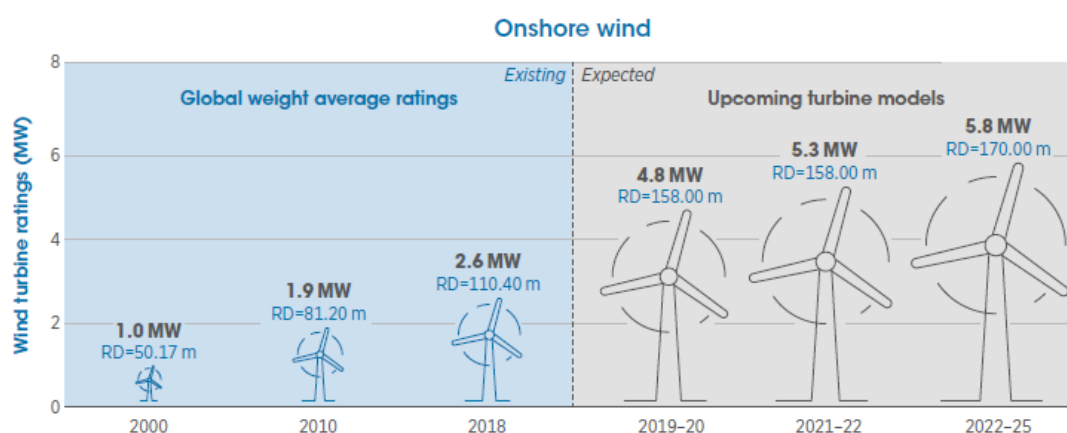


Figura 3-6 Inovações e melhorias tecnológicas em desenvolvimento rumo a uma maior capacidade turbinas eólicas *onshore* (IRENA, 2019a)

Segundo o U.S. Department of Energy (2018), a capacidade média da turbina, a altura do eixo do rotor e seu diâmetro aumentaram em 2018, dando continuidade à tendência de longo prazo. Para otimizar o custo e o desempenho do projeto eólico, as turbinas continuam a crescer em tamanho. A capacidade média nominal das turbinas eólicas instaladas nos Estados Unidos da América em 2018 foi de 2,43 MW, um aumento de 5% em relação ao ano anterior. O diâmetro médio do rotor em 2018 foi de 115,6 metros, um aumento de 2% em relação a 2017, enquanto a altura média do eixo do rotor foi de 88,1 metros em 2018, um aumento de 2% em relação ao ano anterior.

3.2.7 Energia eólica *offshore*

A energia eólica cresceu a passos largos nos últimos 20 anos. Começou o século como uma fonte de energia de nicho na Europa e nos EUA e terminou 2019 como fonte principal de energia limpa e competitiva em termos de custo em todo o mundo. À medida que a tecnologia *onshore* amadureceu, a energia eólica *offshore* passou a ser adotada por governos e instituições internacionais como o próximo ponto de viragem na transição energética (GWEC, 2020).

Devido às características geofísicas, os ventos *offshore* são mais fortes e estáveis. Além do que, os ventos *onshore* são mais turbulentos, uma vez que são influenciados por barreiras naturais, como as montanhas e florestas, e artificiais como os edifícios. Consequentemente, existem melhores condições no mar, onde podem ser construídas turbinas com alta capacidade de captura de vento, permitindo uma maior produção de energia (Enevoldsen & Valentine, 2016).

O interesse na exploração de energia eólica *offshore* está a aumentar significativamente em todo o mundo. Dentre os motivos, a elevada necessidade energética, o desenvolvimento global do setor de energia com alta relevância dos recursos renováveis, além do facto de o vento *offshore*

alcançar velocidades maiores e mais constantes em relação ao vento *onshore*. O potencial da energia eólica *offshore* atualmente pode ser considerado num estado de implementação significativo e deve crescer ainda mais rapidamente nos próximos anos (Díaz & Guedes Soares, 2020).

O mercado eólico *offshore* global em contínua expansão, alcançou em 2018 uma capacidade instalada acumulada de cerca de 23 GW, dos quais 79% estão localizados na UE28. Em 2018, o Reino Unido e a Alemanha lideravam claramente a capacidade eólica *offshore* acumulada com 8,0 GW (34%) e 6,4 GW (28%), respetivamente. Além disso, nos últimos anos, uma capacidade significativa foi implantada na Bélgica (1,2 GW), na Dinamarca (1,3 GW) e na Holanda (1,1 GW). Atualmente 17 países acolhem projetos eólicos *offshore*, com um número crescente de novos participantes provenientes de países não europeus como Japão, Coreia do Sul, Taiwan, Estados Unidos e Vietname (European Commission, 2019).

No ano de 2019, as instalações de energia eólica *offshore* continuaram com uma elevada taxa de crescimento de mais de 30%. Foi adicionada neste ano, globalmente, a marca recorde de 6,1 GW de nova capacidade, representando 10% do mercado global anual e um recorde de 24% do mercado europeu. A Figura 3-7 ilustra o progresso da energia eólica *offshore* em termos de capacidade instalada para o período entre 2011 e 2019, quando a capacidade cumulativa atingiu um total de 29 GW (IEA Wind, 2020)

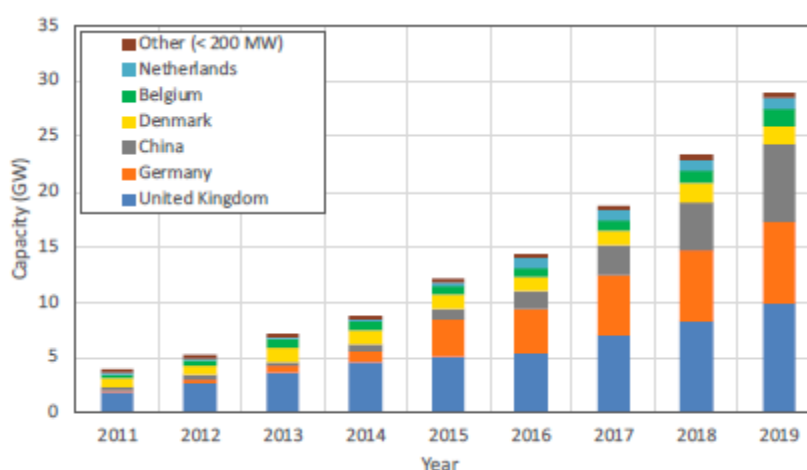


Figura 3-7 Progresso da capacidade instalada de energia eólica *offshore* entre 2011-2019 (IEA Wind, 2020)

A China superou o Reino Unido como mercado *offshore* líder mundial em novas instalações em 2018. A meta do país de energia eólica *offshore* conectada à rede de 5 GW até 2020 foi atingida antecipadamente em 2019, após a nova instalação de 2,4 GW de energia eólica *offshore* naquele ano. Os valores de novas instalações e capacidade acumulada nos dois últimos anos podem ser vistos na Tabela 3-3. Atualmente, a China possui uma capacidade eólica *offshore* cumulativa instalada de 6,8 GW, tornando-se assim a terceira maior do mundo (GWEC, 2020).

Tabela 3-3 Novas instalações e capacidade acumulada *offshore* 2018-2019 (GWEC, 2020)

MW, offshore	New installations 2018	Total installations 2018	New installations 2019	Total installations 2019
Total offshore	4,348	22,997	6,145	29,136
Europe	2,658	18,280	3,627	21,903
United Kingdom	1,312	7,963	1,764	9,723
Germany	969	6,382	1,111	7,493
Belgium	309	1,186	370	1,556
Denmark	61	1,329	374	1,703
Netherlands	0	1,118	0	1,118
Other Europe	7	302	8	310
Asia-Pacific	1,690	4,687	2,518	7,204
China	1,655	4,443	2,395	6,838
South Korea	35	73	0	73
Other Asia	0	171	123	292
Americas	0	30	0	30
USA	0	30	0	30

Apesar de a energia eólica *offshore* ser mais eficiente do que a energia eólica *onshore* e do atual cenário de expansão, por se tratar de um setor emergente e enfrentar desafios únicos relacionados com o trabalho no mar, possui custos de construção e operação mais elevados e, portanto, um custo geral de produção mais alto (IRENA, 2016).

Os custos de conexão à rede dependem muito da configuração de escala e da localização de cada empreendimento. A energia eólica *offshore* tem ainda um significativo potencial de redução no custo de conexão à rede devido às longas linhas de transmissão necessárias para a conexão à rede elétrica em terra. Uma opção para reduzir custos *offshore* é o uso de conexões de corrente contínua de alta tensão, reduzindo a perda de transmissão em comparação com o uso de transmissão de corrente alternada. Outras opções incluem produção em massa, centrais eólicas maiores e desenvolvimento de tecnologia, especialmente no setor dos materiais (IRENA, 2016).

A tecnologia eólica *offshore* flutuante vem a desenvolver-se rapidamente nos últimos anos. As centrais eólicas flutuantes permitem maior acesso a águas mais profundas em comparação às turbinas eólicas convencionais de fundo fixo, o que expande a área viável para o desenvolvimento da exploração, reduz a visibilidade da costa e possibilita potencialmente a localização em áreas características de vento mais estável e velocidade mais elevada (Stewart & Muskulus, 2016).

Os parques eólicos *offshore* flutuantes desenvolvem-se em direção à maturidade comercial. Alguns exemplos são o projeto Fukushima FORWARD II-Hitachi do Japão, que começou a operar em março de 2017 e integra uma turbina eólica de 5 MW construída num flutuador, e a nova central eólica *offshore* flutuante, Hywind, que iniciou operações na costa da Escócia em 2018 (IEA Wind, 2019).

3.2.8 Hibridização

Novas soluções, como a hibridização (no caso a combinação da tecnologia eólica com outra fonte de energia ou solução de armazenamento), são cada vez mais aplicadas em mercados maduros e emergentes para apoiar a integração de energia eólica e de outras fontes renováveis. Para acelerar a transição energética global, os principais agentes interessados na indústria eólica também participam em iniciativas para acelerar a colaboração da indústria com setores como o hidrogénio. Neste contexto, a hibridização e o hidrogénio verde são apontados como ferramentas importantes para gerar novas oportunidades para o setor eólico (GWEC, 2020).

A hibridização oferece oportunidades para aumentar a participação das energias renováveis na rede em mercados maduros como o da Europa, o dos EUA e o da Austrália e mercados de alto crescimento como o do Sudeste Asiático. Em mercados emergentes, como o do continente africano e áreas remotas como pequenas ilhas, as soluções híbridas podem agregar valor e fornecer segurança de abastecimento, facilitando e permitindo uma melhor integração do sistema. A hibridização como solução técnica pode ajudar a enfrentar o principal desafio da energia renovável variável: a flexibilidade (GWEC, 2020).

De modo a superar obstáculos decorrentes da natureza variável da energia eólica, e para manter a confiabilidade e operação contínua do sistema em tempos de baixa disponibilidade de recursos, uma solução seria combinar sistemas eólicos com outras fontes de produção renovável, como a solar fotovoltaica, hídricas, dispositivos de armazenamento, bem como o hidrogénio (IRENA, 2019a).

Em 2012, foi instalado o primeiro projeto híbrido do mundo, combinando 100 MW de energia eólica e 40 MW de geração solar fotovoltaica com capacidade de armazenamento de 36 MW em Zhangbei, na China. A China foi o principal mercado em sistemas híbridos solares e eólicos em 2018 e tende a manter-se dominante nos próximos anos. Em Espanha, o produtor Vestas e a EDP concluíram o primeiro projeto híbrido eólico-solar do país com capacidade de 3,3 MW em 2018. Espera-se também um aumento constante destes projetos em outros países como a Índia, a Alemanha, a Holanda e os Estados Unidos da América, especialmente como uma solução complementar para resolver aspetos relacionados à integração na rede elétrica (IRENA, 2019a).

3.2.9 Hidrogénio Verde

O hidrogénio por si só não é uma fonte de energia primária, mas um vetor de energia que oferece parcialmente os benefícios dos combustíveis fósseis (isto é, flexibilidade) com uma pegada de carbono baixa. Também oferece um meio de integrar altas quotas de eletricidade renovável variável no sistema de energia. O hidrogénio pode ser produzido através de diversas fontes e pode ser armazenado de várias maneiras, o que possibilita acessibilidade e fácil distribuição (Ayodele & Munda, 2019).

O desenvolvimento da economia do hidrogénio através do seu uso como potencial substituto do combustível fóssil pode ser uma das soluções promissoras para substituir a atual economia dependente de carbono. Devido ao uso comparável do hidrogénio aos tradicionais combustíveis fósseis nos setores dos transportes, das indústrias e da eletricidade, o hidrogénio pode ser uma solução potencial para as atuais crises de energia, especialmente quando produzido por uma fonte limpa e sustentável. Um dos métodos mais adequados de produção de hidrogénio verde é o uso da energia eólica por meio da eletrólise da água. (Ayodele & Munda, 2019).

Além da sua versatilidade, o hidrogénio atende a um requisito fundamental para a transição energética: a produção de hidrogénio alimentada por energias renováveis produz o combustível de emissão zero conhecido como "hidrogénio verde". De todas as opções de eletricidade renovável, a eólica *offshore* tem o maior potencial para produzir hidrogénio sustentável devido à competitividade económica que pode ser alcançada através de sua escala e inovações tecnológicas (GWEC, 2020).

Quando a eletricidade produzida a partir de fontes renováveis é maior do que o consumo, é gerado um excedente na produção, que pode ser utilizado para produzir um gás, que por sua vez pode ser armazenado ou usado diretamente. Este é o desafio que a tecnologia power-to-gas (P2G) deseja enfrentar. O excesso de eletricidade renovável é transformado em gás a partir de um eletrolisador (Figura 3-8). A eletrólise gera a dissociação da água em oxigénio e hidrogénio, que podem ser usados de várias maneiras: diretamente para a indústria; injeção na rede de gás natural ou produção de metano por metanação, que pode ser injetado na rede de gás natural (Boudellal, 2018).

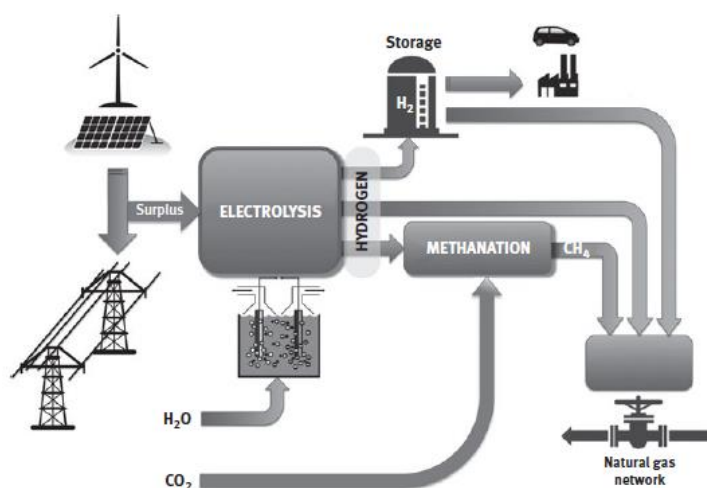


Figura 3-8 Diagrama do conceito de P2G (Boudellal, 2018)

Vários são os promotores, incluindo os principais desenvolvedores de energia eólica *offshore*, empresas de petróleo e gás, centros de pesquisa e governos que pretendem lançar o hidrogénio em escala para descarbonizar indústrias e dar uma contribuição substancial à transição energética. Alguns dos exemplos de como os participantes da indústria eólica adaptaram o hidrogénio às abordagens de negócios são o *Crystal Brook Energy Park* na Austrália, um “superhub” de 50 MW previsto para este ano de 2021 e proposto para ser a maior instalação de produção eólica, solar, de

baterias e hidrogénio no mundo; o *Hyoffwind* (25 MW) previsto para 2023 na Bélgica; e o *Dolphyn* (10MW) no Reino Unido, que está previsto para 2023 (GWEC, 2020).

3.3 Panorama nacional

3.3.1 Capacidade instalada

A energia gerada por fontes renováveis protagonizaram na última década um papel notável e incontornável no *mix* elétrico nacional, principalmente devido ao aumento do número de centrais eólicas e hídricas no território português (APREN, 2019a).

Segundo o anuário da APREN (2019a), atualmente, a energia eólica desempenha uma função essencial no setor elétrico português. No ano de 2018 quase um quarto do consumo de energia elétrica do país foi suprido por eletricidade gerada a partir de fonte eólica, na mesma ordem de grandeza da contribuição observada em 2016 e em 2017.

No ano de 2019, a fonte de produção de eletricidade renovável que mais contribuiu para a satisfação do consumo nacional foi de origem eólica, totalizando 13,6 TWh, o que representa 27% do total da produção nacional de eletricidade (APREN, 2020).

A Figura 3-9 exibe a evolução da capacidade eólica instalada em Portugal nos últimos 30 anos. Como se pode constatar, nos últimos 20 anos houve uma intensa evolução da energia eólica no país, desde os 115 MW de potência instalada no ano de 2000 até aos atuais 5,4 GW em 2020.

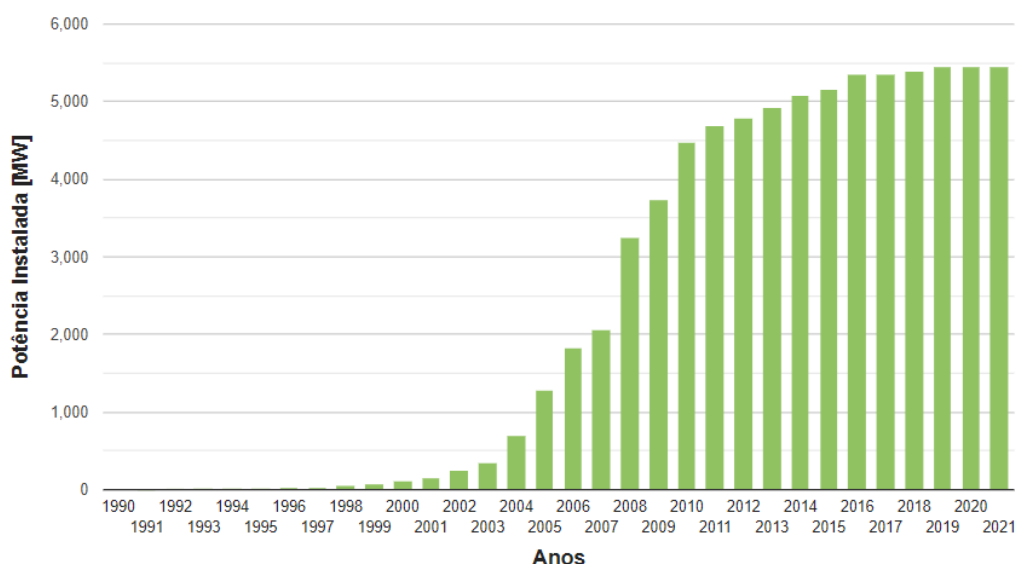


Figura 3-9 Evolução da potência eólica instalada em Portugal (E2p, 2020)

De acordo com DGEG (2020), uma grande parte dos aerogeradores atualmente existentes, cerca de 4 GW, foram instalados no período compreendido entre 2005 e 2012. Atualmente, esta tecnologia é responsável pela produção de 13 TWh/ano.

Apresenta-se a seguir na Tabela 3-4, os valores que ilustram a progressão da produção de energia eólica em Portugal no período entre 2011 e junho de 2020. Atualmente operam no país 261 parques eólicos que contemplam um total de 2801 aerogeradores.

Tabela 3-4 Produção de energia eólica, número de parques e aerogeradores (DGEG, 2020)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 jun ¹
Produção (GWh)	9 162	10 260	12 015	12 111	11 608	12 474	12 248	12 617	13 738	12 980
Potência instalada (MW)	4 378	4 531	4 731	4 953	5 034	5 313	5 313	5 379	5 454	5 454
Horas de produção equivalente	2 093	2 264	2 540	2 445	2 306	2 348	2 305	2 345	2 519	2 380
Nº de parques	236	240	244	245	255	257	257	259	261	261
Nº de aerogeradores	2 354	2 426	2 476	2 565	2 604	2 743	2 743	2 773	2 801	2 801

¹ Ano-móvel: julho de 2019 a junho de 2020.

A Figura 3-10 exibe os valores de produção de energia eólica nas diferentes regiões do país, sendo os valores do ano de 2020 referentes ao considerado ano móvel entre julho de 2019 e junho de 2020. Atualmente, a região Centro é responsável por cerca de 48% da produção eólica nacional. Juntando a região Norte, este peso eleva se para 88% (DGEG, 2020).

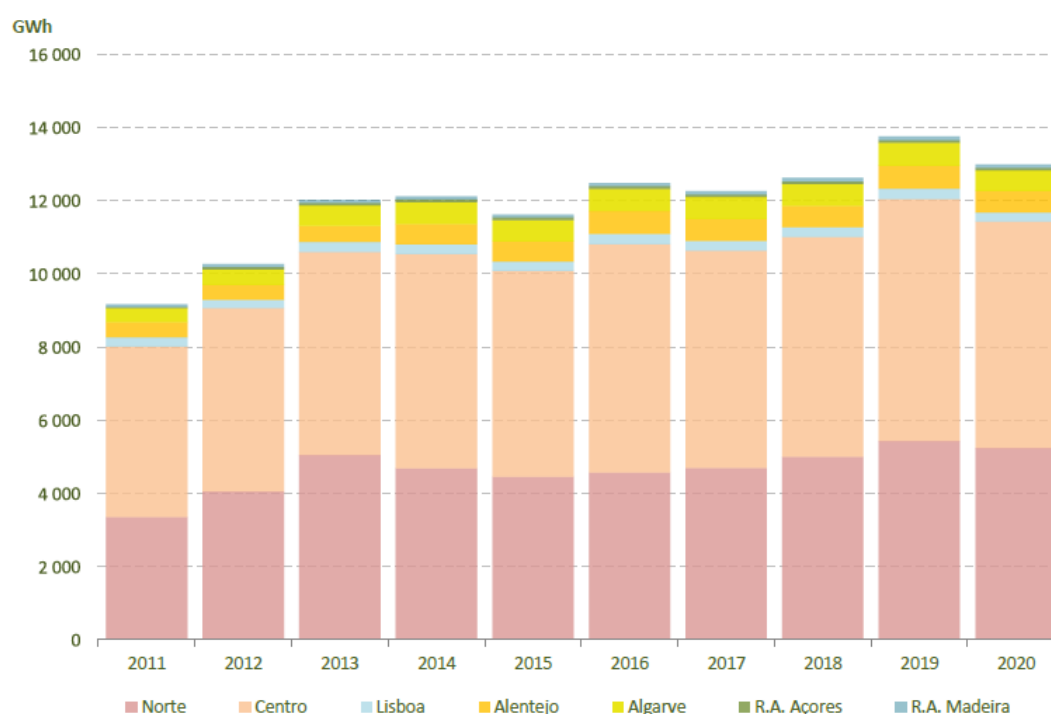


Figura 3-10 Produção de energia eólica por região (DGEG, 2020)

*Ano-móvel: julho de 2019 a junho de 2020.

3.3.2 Metas políticas

Desde o ano de 2000 que se assistiu a um crescimento contínuo da tecnologia eólica em Portugal, graças ao incentivo gerado pela aposta estratégica da política europeia e nacional na produção de energia a partir de fontes renováveis atentando a progressos na diversificação de fontes, melhorias na segurança e no abastecimento energético e redução da dependência energética e dos impactes ambientais do sistema eletroprodutor (INEGI & APREN, 2018).

Em 2009, a Diretiva 28/2009/CE do Parlamento Europeu e do Conselho introduziu a obrigatoriedade dos países membros da UE submeterem um plano de promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Sendo assim, cada estado-membro passou a fixar no seu Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) objetivos nacionais relativos à quota proveniente FER consumida nos setores dos transportes, eletricidade e aquecimento e arrefecimento, bem como as respetivas trajetórias de penetração, tendo em conta os efeitos de outras políticas relacionadas com a eficiência energética no consumo (Observatório de Energia, DGEG, & APREN, 2019).

No âmbito do PNAER, apresentado em 2010, Portugal reconheceu como meta atingir 20% de seu consumo total de energia por geração a partir de fontes renováveis até ao ano de 2020. Primeiramente, o plano indicava uma meta inicial de 6875 MW para a potência instalada de energia eólica para 2020, entretanto, uma revisão do plano feita em 2012 conduziu a uma diminuição deste valor para 5300 MW (Irena & GWEC, 2013). Considerando-se os atuais 5,4 GW de capacidade eólica total instalada, pode-se constatar que a referida meta revista no ano de 2012 foi cumprida.

Em 2016, na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), Portugal firmou o propósito de atingir a Neutralidade Carbónica até 2050, desenvolvendo o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) que estabelece visão, trajetórias e linhas de orientação para as políticas e medidas a concretizar nesse horizonte temporal. O RNC2050, publicado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho de 2019, constituiu assim a estratégia de desenvolvimento em longo prazo com baixas emissões de gases com efeito de estufa (Governo de Portugal, 2019).

Fatores como o compromisso com a neutralidade carbónica em 2050 e a transição energética em marcha impõem ao país uma mudança do paradigma económico e social, incluindo uma forte aposta nas energias de fontes renováveis. Para marcar o ritmo desta mudança, o Plano Nacional Energia Clima (PNEC), apresentado em 2019, estipula metas ambiciosas para o horizonte 2021–2030, dentre elas a redução das emissões de gases com efeito de estufa entre 45% e 55% face a 2005, a redução do consumo de energia primária em 35%, o aumento do peso das energias renováveis no consumo final bruto de energia para 47%, devendo o peso das renováveis no setor dos transportes atingir 20%, e um nível de interligações elétricas de 15% (Observatório de Energia et al., 2019).

Dentre os objetivos e metas traçadas pelo PNEC é importante salientar as trajetórias estimadas para a quota setorial de energia renovável no consumo final de energia entre 2021 e 2030 nos setores da eletricidade, do aquecimento e arrefecimento e dos transportes (Tabela 3-5). A nível setorial e com vista ao cumprimento da meta global de FER e tendo como base os principais *drivers* já definidos para alcançar esta meta, foram definidas as seguintes metas e objetivos nacionais para o horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019).

Tabela 3-5 Trajetórias estimadas para a quota setorial de energia renovável no consumo final de energia no horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019)

	2020	2025	2030
Eletricidade	60%	69%	80%
Aquecimento e Arrefecimento	34%	36%	38%
Transportes	10%	13%	20%

A Figura 3-11 ilustra a trajetória relativa à evolução da quota de energia de fontes renováveis na eletricidade entre 2005 e 2018 e a estimativa gerada pelas metas propostas no horizonte 2030.

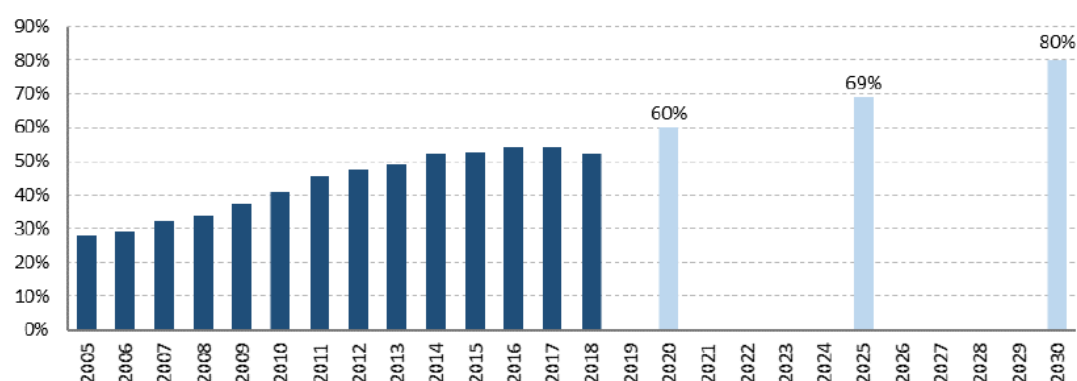


Figura 3-11 Evolução da quota de energia de fontes renováveis na eletricidade no horizonte 2030 (Governo de Portugal, 2019)

No que toca ao setor da eletricidade, a perspetiva é de um forte impulso à eletrificação do consumo associado à descarbonização da produção através do reforço do potencial das energias renováveis, principalmente nas tecnologias solar e eólica onshore e offshore e, paralelamente, o fomento à produção distribuída, promoção do armazenamento, reforço e otimização das redes de transporte e distribuição e promoção de projetos-piloto (Governo de Portugal, 2019).

Portugal dispõe ainda de um significativo potencial eólico por explorar, ao mesmo tempo importa também dar atenção aos atuais parques eólicos, dando-lhes as condições para se tornarem mais competitivos. Para o efeito, a estratégia nacional para reforçar o setor eólico passará sobretudo pela hibridização, sobre-equipamento e *repowering*, criando as necessárias condições para a viabilização destas opções (Governo de Portugal, 2019).

O sobre-equipamento trata da instalação de novos aerogeradores com a intenção de se obter um aumento da potência instalada das centrais eólicas, limitado a 20% da potência de ligação às

redes, que se mantém inalterada. A repotenciação envolve a utilização das estruturas existentes e a substituição das antigas turbinas eólicas por tecnologias mais modernas e eficientes, gerando um aumento da capacidade de produção. Ambas soluções terão um importante contributo, em especial o *repowering*, que permite a substituição das atuais turbinas eólicas em operação à medida que estas atingem o fim de sua vida útil, sendo assim necessário criar as condições favoráveis e o enquadramento regulamentar para viabilizar esta solução (Governo de Portugal, 2019).

3.3.3 Benefícios sociais

Em conjunto, a Deloitte e a APREN desenvolveram um estudo, apresentado em 2019, sobre o impacto da eletricidade de origem renovável perspectivado para as dimensões económico-sociais e ambientais. Neste estudo foram analisados dados históricos entre o período de 2014 a 2018, além de projeções até 2030. Inclui-se nesta análise a contribuição direta do setor de eletricidade renovável no PIB de Portugal, a criação de emprego direta e indiretamente pelas FER e as emissões evitadas de CO₂.

Relativamente ao impacto no PIB, o estudo revelou que no período entre 2014 e 2018 a contribuição das FER situou-se numa média de aproximadamente 3 mil milhões de euros por ano, equivalente a cerca de 1,7% do PIB. Segundo as projeções realizadas, estima-se que este valor ascenda a 11 mil milhões de euros (~4,6% do PIB) até o ano de 2030 (Deloitte & APREN, 2019).

Entre 2014 e 2018, as FER criaram em média mais de 41 mil empregos, diretos e indiretos, por ano (Figura 3-12), obtendo assim um valor acrescentado por colaborador muito superior à média nacional (Deloitte & APREN, 2019).

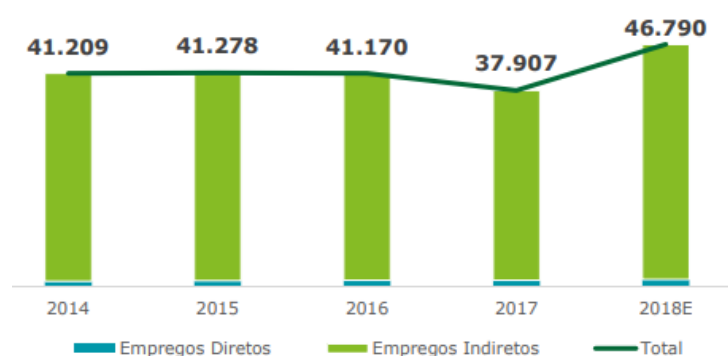


Figura 3-12 Evolução do emprego criado direta e indiretamente pelo setor das FER (Deloitte & APREN, 2019)

Em 2018, o setor de produção renovável tinha estimadamente 46 mil colaboradores, gerando um PIB por trabalhador próximo de 70,7 mil €. Entre 2018 e 2030, as FER deverão gerar um adicional de 114 mil colaboradores, chegando aos cerca de 160 mil empregos (Deloitte & APREN, 2019).

Dentre o total de volume de emprego criado pelas FER, as fontes eólica e hídrica são as que apresentaram o maior valor, 82% em média no período entre 2014 e 2018 (Figura 3-13). No entanto, a tecnologia solar é a que gera mais emprego por MW instalado (Deloitte & APREN, 2019).

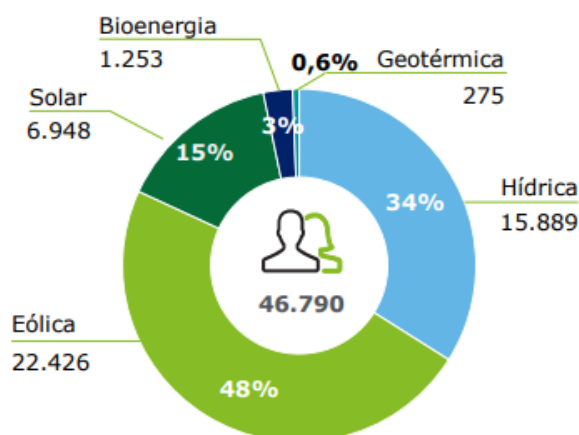


Figura 3-13 Distribuição da contribuição total para a criação de emprego por FER em 2018
(Deloitte & APREN, 2019)

Em termos ambientais foi analisada a contribuição da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis para o ambiente, expresso através da redução das emissões de CO₂ que se teriam verificado se essa produção tivesse sido assegurada por fontes fósseis convencionais, nomeadamente o carvão e o gás natural.

Verificou-se que a produção de energia renovável, no período entre 2014 e 2018, permitiu evitar a emissão de mais de 55 milhões de toneladas de CO₂, poupando assim mais de 427 milhões de euros com licenças de CO₂. Entre 2018 e 2030, estima-se que continuem a aumentar as emissões evitadas a um ritmo de 6,7% por ano (Deloitte & APREN, 2019).

É importante salientar que no ano de 2019, o preço das licenças de emissão de CO₂ registou, um aumento significativo de 56,4% em relação a 2018 no mercado CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão), tendo registado um valor médio de 24,8 €/tCO₂ (APREN, 2019b).

Segundo a edição de dezembro de 2019 do boletim Energias Renováveis da APREN, o nível de incorporação renovável na produção de eletricidade em Portugal Continental no ano de 2019 resultou em inúmeros benefícios para a sociedade, economia e o meio ambiente, dos quais se destacam:

- Uma poupança em importações de combustíveis fósseis de 743 M €;
- 15,0 Mt de emissões de CO₂ evitadas;
- Uma poupança no valor de 374 M € em licenças de emissão de CO₂.

3.3.4 Mecanismo de apoio e impacto da utilização de FER no mercado de eletricidade

Para preconizar desde cedo a transição para as energias endógenas, Portugal criou um quadro regulatório de remuneração baseado em tarifas do tipo *feed-in* (FIT) como mecanismo de apoio e estabilidade (Deloitte & APREN, 2019). Num esquema FIT, uma quantia fixa de dinheiro por unidade de eletricidade renovável é paga ao produtor de energia renovável, independentemente do valor de mercado, atuando como incentivo na compensação dos custos mais elevados das FER. Geralmente, estas tarifas são fixadas por um período de 15 anos para oferecer estabilidade no longo prazo aos produtores de eletricidade (Behrens et al., 2016).

Segundo Proença & St. Aubyn (2013), o principal instrumento de mercado aplicado em Portugal para atingir metas de produção de eletricidade com base em energias renováveis tem sido o esquema FIT. O sistema de FIT está em vigor em Portugal desde 1988, através do Decreto-Lei n.º 189/88, que estabeleceu a base jurídica aplicável à produção. Desde então, este marco regulatório tem sido alterado diversas vezes. As principais alterações estão relacionadas com ajustes na formulação para determinar o valor das tarifas, diferenciado por tipo de tecnologia renovável e no período de garantia.

O Decreto-Lei n.º 35/2013, de 13 de fevereiro de 2013, introduziu modificações regulatórias de modo a prolongar a proteção oferecida aos investimentos realizados previamente. Esta modificação possibilitou que os produtores titulares de centrais eólicas que já gozavam do benefício das tarifas *feed-in* pudessem estender o período de remuneração garantida por mais cinco ou sete anos. Ao final deste tempo complementar, a eletricidade produzida por essas centrais eólicas passará a ser comercializada em regime de mercado, indicando assim o fim do período de apoio excessivo aos investimentos no setor eólico nacional (Borges, 2018).

Os principais impactes provenientes do uso de fontes renováveis na tarifa de eletricidade são refletidos na tarifa de uso global de sistema por meio dos chamados custos de interesse económico geral (CIEG) e do custo de compra e comercialização no MIBEL (Mercado Ibérico de Eletricidade). De modo a impulsionar a Produção em Regime Especial (PRE) de origem renovável, a tarifa contempla uma parcela relativa ao diferencial de custo da PRE em relação aos valores de mercado, a qual posteriormente reflete na tarifa de venda a clientes finais (Deloitte & APREN, 2019).

Segundo o estudo “Impacto da eletricidade de origem renovável” da Deloitte & APREN (2019), os principais impactos na tarifa para o consumidor da promoção e utilização de FER são dois:

- I. Na Tarifa de Uso Global do Sistema consideram-se os custos decorrentes das medidas de política energética, ambiental e de Interesse Económico Geral (CIEG), entre os quais, se inclui o diferencial de custo da PRE.
- II. Por outro lado, a utilização de FER tem uma influência de redução no preço marginal da eletricidade no mercado, uma vez que o custo marginal de produção de eletricidade a partir de FER é tendencialmente menor do que de outras fontes.

Ainda de acordo com o estudo, a PRE renovável tem geralmente um custo marginal muito próximo do zero, possibilitando ofertas de eletricidade a um custo inferior no mercado e reduzindo assim o preço no mercado diário da eletricidade numa determinada hora. Foi observado que o preço de venda da eletricidade sem PRE renovável seria, em média, 24,2 €/MWh superior ao preço de venda com PRE renovável. Estima-se que as poupanças acumuladas obtidas desde 2010 sejam de cerca de 10 mil milhões de euros (Deloitte & APREN, 2019).

De modo a considerar o diferencial de custo da PRE renovável e o seu impacto no preço do mercado diário de eletricidade, verifica-se um efeito líquido positivo para o sistema, com um valor acumulado de cerca de 2,4 mil milhões de euros nos últimos 9 anos. Espera-se ainda, que com o aumento da contribuição das renováveis para o mercado ibérico de eletricidade, se acentue ainda mais a poupança para o consumidor (Deloitte & APREN, 2019).

3.3.5 Fim da vida útil dos aerogeradores e o uso da tecnologia para aumento da produção

Segundo Simões, Couto & Estanqueiro (2019), atualmente parte substancial dos parques eólicos no mundo, sobretudo em países pioneiros neste setor, está a atingir o fim de sua vida útil. A evolução tecnológica e a descontinuidade de modelos obsoletos motivam a substituição de turbinas eólicas antigas por outras de tecnologia mais atual e de maior potência nominal. Quando uma turbina eólica atinge o limite da sua vida útil, devem ser analisadas três possibilidades:

- i. Desinstalação do equipamento (descomissionamento)
- ii. *Repowering*, traduzido como repotenciação
- iii. Extensão da vida útil das turbinas eólicas

A repotenciação refere-se à substituição das turbinas eólicas existentes numa central por outras de igual ou maior capacidade, rendimento mais elevado e maior sofisticação de operação, sendo mantida a potência máxima de injeção licenciada e, caso haja possibilidade, o reaproveitamento da infraestrutura de interligação elétrica existente. Contudo, segundo o Decreto-Lei n.º 76/2019, de 3 de junho de 2019, já está prevista a possibilidade de alteração da potência instalada, do número de turbinas e de geradores do sistema. Este novo Decreto-Lei incentiva assim o desenvolvimento do setor das energias renováveis para o cumprimento das metas estabelecidas no PNEC 2030 e no RNC 2050 (Simões, Couto, & Estanqueiro, 2019).

Em casos onde a repotenciação seja impossibilitada devido a constrangimentos relacionados com aspetos físicos ou ambientais do local, há a opção de optar-se pela extensão de vida útil dos equipamentos, que consiste na substituição de componentes que não alterem as características operacionais do sistema e que permitam o seu funcionamento por um período de tempo mais longo, desde que sejam cumpridos os padrões e requisitos normais de segurança (Simões, Couto, & Estanqueiro, 2019).

Portugal dispõe atualmente de cerca de 250 parques eólicos, totalizando uma potência instalada de cerca de 5,4 GW. Dentre este total de empreendimentos eólicos, 19% (referente a uma potência de 339,52 MW) têm idades entre 15 e 20 anos. Caso não haja investimentos de reaproveitamento, o setor irá diminuir drasticamente nos próximos anos. Tendo em vista a tendência favorável à produção de energia elétrica renovável e o alto índice de eolicidade do país, a extensão da vida útil dos aerogeradores, ainda que por um período de tempo limitado e dentro do enquadramento legal, e o *repowering* das centrais eólicas são apontadas como duas soluções possíveis para a continuidade de operação da frota existente (IEP, 2019).

O Plano Nacional de Energia e Clima de Portugal prevê a fomentação do aumento da produção eólica designadamente através de algumas aplicações, dentre as quais se destaca a repotenciação: “Na energia eólica, a aposta passará sobretudo pela hibridização, pelo sobre-equipamento e pelo *repowering*, três formas de aumentar a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis minimizando os custos para o consumidor e para o ambiente, porque otimizam investimentos em rede já realizados.” (Governo de Portugal, 2019).

Dados os avanços tecnológicos e o aumento das dimensões e da potência unitária das turbinas eólicas, surge a possibilidade de substituir várias turbinas antigas por uma única nova turbina de maiores dimensões, e ainda com impactes ambientais reduzidos. Um exemplo prático é o caso do Parque Eólico de Lagoa Funda, que foi submetido a um processo de *repowering* em 2011, no qual 20 turbinas eólicas de 500 kW foram substituídas por apenas 6 novas turbinas de 2 MW, conseguindo-se assim mais que duplicar a produção de energia elétrica da central eólica (Iberwind, n.d.).

3.3.6 Primeiros passos da energia eólica *offshore*

Portugal destaca-se pela sua capacidade eólica instalada *onshore*. Entretanto, no que diz respeito a instalações eólicas do tipo *offshore* tem somente um único projeto. A principal razão para isso é a particularidade geográfica do oceano Atlântico que, ao contrário das águas do Norte da Europa, onde são instaladas muitas turbinas a cada ano, torna-se muito profundo muito próximo à costa. Para além disto, a ondulação do oceano Atlântico, muito superior à do Mar do Norte, impossibilita a instalação de turbinas eólicas *offshore* convencionais, cujas fundações estão no fundo do mar. Essas condições acabam por elevar substancialmente os custos envolvidos para a sua exploração (The European Wind Energy Association, 2011).

O Projeto WindFloat (Figura 3-14) desenvolveu uma tecnologia inovadora para permitir a exploração do potencial eólico no mar em profundidades superiores a 40 m. A plataforma flutuante é semissubmersível e está ancorada no fundo do mar. O parque eólico é composto por um total de três unidades flutuantes com turbinas de 8,4 MW, as maiores do mundo instaladas numa plataforma flutuante até agora, totalizando uma capacidade final instalada de 25 MW. A energia gerada é suficiente para abastecer o equivalente a 60.000 casas ao longo de um ano, poupando quase 1,1

milhões de toneladas de CO₂. O projeto pertence à Windplus, consórcio formado pela EDP Renováveis (54,4%), ENGIE (25%), Repsol (19,4%) e Principle Power Inc. (1,2%) (EDP, 2019).

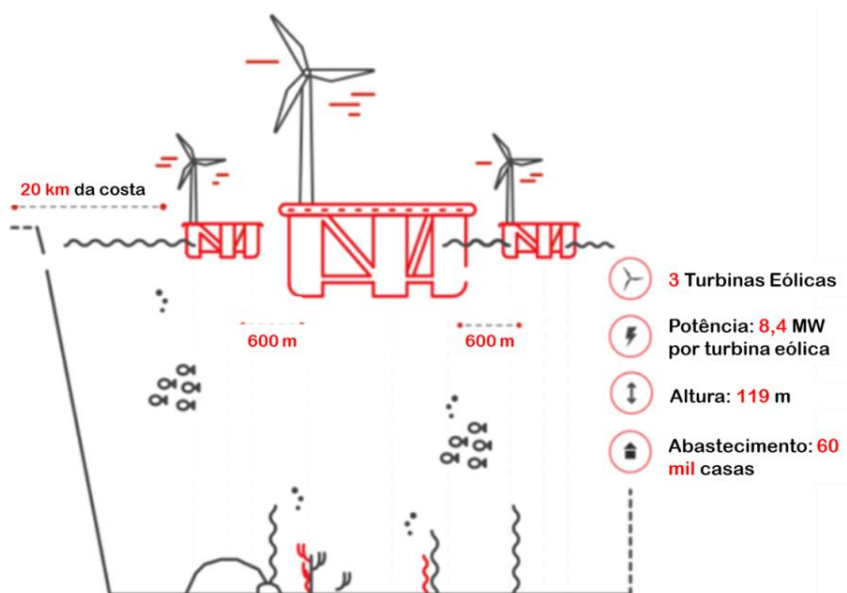


Figura 3-14 Projeto Windfloat (EDP, 2019)

O Plano Nacional de Energia e Clima nacional faz referência à promoção da eólica *offshore* e ao aproveitamento das infraestruturas criadas ao largo de Viana do Castelo. O objetivo é de se alcançar, numa primeira fase, 200 MW de nova capacidade, dos quais 25 MW já se encontram alocados no projeto Windfloat. Pretende-se com este investimento, atrair investidores que tirem partido desta infraestrutura a favor da eólica *offshore* (Governo de Portugal, 2019).

3.3.7 Perspetivas de projetos híbridos e a Estratégia Nacional para o Hidrogénio

Como já referido anteriormente, a hibridização foi apontada como uma das soluções que integra a estratégia nacional de reforço do potencial eólico no país com o foco no cumprimento das metas do PNEC. O Decreto-Lei n.º 76/2019, de 3 de junho de 2019, que estabeleceu alterações no regime jurídico aplicáveis ao exercício das atividades de produção, transporte, distribuição e comercialização de eletricidade, tornou também possível o licenciamento de projetos híbridos para centros eletroprodutores existentes, visando a otimização do diagrama de carga das centrais sem envolver qualquer alteração à sua potência de ligação.

O Governo de Portugal quer fomentar projetos híbridos, nomeadamente de energia eólica e solar, com o intuito de maximizar a exploração dos recursos renováveis aproveitando a rede elétrica existente. A combinação do vento e do sol é uma possibilidade que interessa sobretudo às empresas de energia eólica que já têm parques ligados à rede elétrica. Esta solução possibilita a compensação dos períodos onde há menor disponibilidade de vento com a produção de eletricidade através da tecnologia solar, sem sobrecarregar a rede elétrica. A EDP, detentora de 24% da capacidade eólica do país, estudou esta aplicação em vários países e demonstrou interesse em avançar com estes

projetos. A Finerge também se manifestou interessada no investimento de centrais solares junto aos seus parques eólicos e reconhece a solução como forma de aumentar a capacidade instalada sem sobrecarregar a rede, otimizando a infraestrutura já existente (Expresso, 2019).

O Plano Nacional do Hidrogénio foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2020, de 14 de agosto de 2020. O objetivo principal da Estratégia Nacional para o Hidrogénio (EN-H2) remete a busca por incentivo e estabilidade para o setor energético, passando pela promoção de uma introdução gradual do hidrogénio verde e sua integração numa estratégia mais abrangente de transição com foco na descarbonização (Observatório da Energia, 2020).

Um dos benefícios do uso do hidrogénio é a possibilidade de integração dos sistemas de eletricidade e de gás natural, que acelera o processo de descarbonização do sistema elétrico, torna possível a descarbonização da rede de gás natural e permite uma estratégia mais eficiente e económica rumo à neutralidade carbónica (Ministério do Ambiente e da Acção Climática, 2020).

Tido como um projeto âncora do Plano Nacional do Hidrogénio, o Projeto Industrial de Hidrogénio Verde em Sines é um projeto de grandes dimensões, com a perspetiva de alavancar a energia solar e também a energia eólica, aproveitando a localização estratégica de Sines. Está prevista a instalação de uma unidade industrial com, pelo menos, 1 GW de capacidade total até ao ano de 2030, possibilitando posicionar Portugal como um importante *hub* de hidrogénio verde (Ministério do Ambiente e da Acção Climática, 2020).

3.4 Análise do potencial da tecnologia eólica face às outras fontes de energia

Em comparação com as fontes de energia fóssil e nuclear, a produção de energia renovável apoia a sustentabilidade de diversas maneiras, é uma abordagem importante para a neutralidade climática, reduz o consumo de recursos e os impactes sobre a saúde humana (Palmas, Siewert & von Haaren, 2015).

Dentre os benefícios das energias renováveis destacam-se os seguintes: são relativamente independentes do custo do petróleo e de outros combustíveis fósseis, que é previsto aumentar significativamente ao longo do tempo; podem ajudar a reduzir o esgotar dos recursos energéticos não renováveis do mundo; a sua implementação é relativamente simples e são essenciais na resolução dos problemas ambientais (I. Dincer & Rosen, 2005).

Sob a perspetiva do atual contexto de adoção de políticas de controlo das alterações climáticas e da transição energética rumo à descarbonização, este item compara a energia eólica, em diversos aspetos, com algumas das demais fontes de energia, sobretudo renováveis. Destaca-se essencialmente a competitividade entre as fontes eólica e solar, por serem atualmente tecnologias renováveis muito populares e em forte ascensão na produção de energia renovável a nível mundial.

3.4.1 Tendência de custos

Determinar se uma fonte de energia específica é necessariamente melhor do que outras em muitos casos é algo difícil. No caso de apenas a sua competitividade económica ser comparada, os resultados podem variar de acordo com a incerteza de diversas variáveis, como as taxas de desconto e de juros, custo de capital e fator de capacidade. Por estas razões, muitos pesquisadores comparam a competitividade económica da energia através de artigos que analisaram esta questão usando o custo nivelado da eletricidade (LCOE), que é adotado como uma métrica para estimar a competitividade das tecnologias de produção de energia e comparar os seus diferentes ciclos de vida (Sung & Jung, 2019).

Os custos com a eletricidade de fontes renováveis caíram bruscamente na última década (Figura 3-15), impulsionados por tecnologias aprimoradas, economias de escala, cadeias de suprimentos cada vez mais competitivas e, no caso da energia eólica, das melhorias na tecnologia que resultaram em fatores de capacidade mais elevados. De acordo com os dados de custo mais recentes da IRENA, o custo médio nivelado ponderado global de eletricidade (LCOE) da energia eólica *onshore* caiu 39% entre 2010 e 2019, e o de energia eólica *offshore* 29%, enquanto o de energia solar fotovoltaica em grande escala caiu 82% e a solar concentrada caiu 47% (IRENA, 2019b).

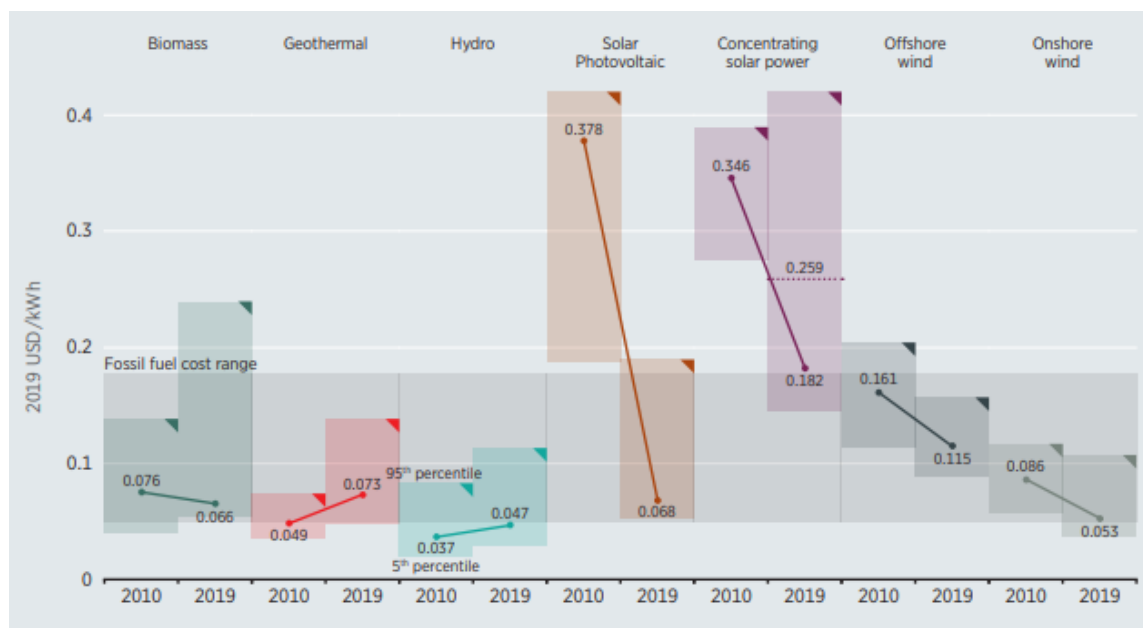


Figura 3-15 Custo médio nivelado ponderado global de eletricidade de tecnologias de produção de energia renovável em escala de serviço público entre 2010 e 2019 (IRENA, 2019b).

Como pode se observar, para projetos comissionados em 2019, o LCOE global médio ponderado de energia eólica *onshore* e *offshore* caíram ambos cerca de 9%, atingindo 0,053 USD/kWh e 0,115 USD/kWh, respetivamente. Os custos de eletricidade da energia solar fotovoltaica caíram 13% no ano de 2019, atingindo 0,068 USD/kWh. Os custos de energia solar concentrada,

ainda os menos desenvolvidos entre as tecnologias solar e eólica, caíram 1%, para 0,182 USD/kWh (IRENA, 2019b).

Ainda segundo a IRENA (2019b), a tendência no LCOE global médio ponderado para as tecnologias maduras de bioenergia, geotérmica e hidrelétrica tem sido mais variada. Estas tecnologias representam energia competitiva e firme com custos já baixos em muitos casos. Entre 2010 e 2019, o LCOE global médio ponderado da bioenergia caiu de 0,076 USD/kWh para 0,066 USD/kWh, um valor na extremidade inferior da faixa de custo para novos projetos de combustível fóssil. No caso dos novos projetos de energia geotérmica comissionados em 2019, os valores atingiram cerca de 0,073 USD/kWh, enquanto nos projetos hidrelétricos recém-comissionados aumentaram de 0,037 USD/kWh em 2010 para 0,047 USD/kWh em 2019.

Segundo Ram et al. (2018), o uso do LCOE como parâmetro para comparar custos de diferentes tecnologias tem sido prática convencional de negligenciar os custos externos deletérios e de emissão de gases de efeito estufa na sua estimativa. Como o LCOE é um indicador crítico para os tomadores de decisões e políticas, há a necessidade de justapor os custos reais das tecnologias de produção de energia renovável e convencional.

Na sua pesquisa Ram et al. (2018) procurou internalizar alguns destes custos externos e de emissão em várias tecnologias de geração e armazenamento de energia em todos os países do G20 e observou que, de maneira geral, a energia eólica *onshore* apresenta atualmente o LCOE global mais baixo, exceto em algumas regiões da Ásia onde os recursos eólicos são menos favoráveis em comparação com o recurso solar.

3.4.2 Ordenamento do território

Segundo Palmas, Siewert & von Haaren (2015), a necessária compatibilidade ambiental do desenvolvimento da produção de energia renovável deve ser alcançada através de uma alta eficiência de ordenamento do espaço na sua produção e considerando a disponibilidade de recursos e as restrições ambientais.

Fontes fósseis de energia (carvão, petróleo, gás natural) podem normalmente ser transportadas por longas distâncias, no entanto o mesmo não acontece com as fontes de energia renováveis. Estas são fontes localizadas de energia. A principal aplicação das fontes renováveis está vinculada ao local. As restrições espaciais das energias renováveis colocam um foco particular no que se refere ao ordenamento do território (Landt & Kjær, 2018).

Os países possuem diferentes matrizes energéticas, resultantes da disponibilidade dos recursos energéticos no seu território. Sendo assim, o potencial energético de cada país depende dos recursos naturais disponíveis, bem como o conhecimento sobre o aproveitamento e a recuperação desses recursos (Porciúncula, 2019).

Os georrecursos estão geralmente relacionados com a energia hídrica, das marés, das ondas, eólica e solar. Eles são fontes primárias de energia e não podem ser caracterizados como portadores de energia. A dimensão espacial está relacionada com a acessibilidade ao recurso e não só. No caso da energia hidrelétrica, diferença de altitude e precipitação suficientes. Para a energia eólica, velocidade do vento suficiente. E para a energia solar, horas de sol suficientes, inclinação e orientação ideal dos painéis (Landt & Kjær, 2018).

O ordenamento do território dos parques eólicos, especialmente, serve para a identificação de áreas adequadas, com base nos dados de potencial eólico disponíveis, que permitam a instalação do máximo de aerogeradores e economias de escala nas redes de energia elétrica. Além do mais, serve para o estabelecimento de critérios para a seleção adequada de locais que permitam um desenvolvimento de parques eólicos sustentáveis e integração harmoniosa na paisagem, respondendo aos objetivos de políticas nacionais e internacionais (Baltas & Dervos, 2012).

No caso da energia proveniente da biomassa, os biorrecursos são normalmente resíduos da agricultura, floresta, indústria e residências. A dimensão espacial, no caso a acessibilidade, em termos de distância, é o elemento crucial. Pellets e outros produtos de madeira podem ser transportados por distâncias mais longas do que outros tipos de resíduos, porque têm um conteúdo de energia relativamente alto por unidade de peso (Landt & Kjær, 2018).

3.4.3 Potência por área de implantação

Os sistemas de energia estão a passar por uma mudança significativa diante da transição energética. Até o momento, a área de superfície necessária para sistemas de FER é maior do que para sistemas não FER, exacerbando os desafios existentes da política ambiental. Uma métrica adequada para comparar a extensão territorial dos sistemas produtores de energia é a densidade de potência de produção de eletricidade, ou seja, a potência elétrica produzida por m^2 horizontal de área de superfície (Zalk & Behrens, 2018).

A densidade de potência é uma variável complexa, assumindo diferentes definições em diversas especialidades. Smil (2016), defende uma medida diferente e muito mais ampla de densidade de potência como talvez a medida mais universal de fluxo de energia: W/m^2 de área horizontal de terra ou superfície de água. Talvez a maior vantagem desse parâmetro seja sua aplicabilidade para avaliar e comparar uma grande variedade de fluxos de energia, sejam fósseis ou renováveis, a todas as formas de conversão de energia, seja a queima de combustíveis ou produção de eletricidade movida a água, vento ou energia solar.

No seu estudo, Zalk & Behrens (2018), revisaram sistematicamente as densidades de potência para diversos tipos e subtipos de energia nos Estados Unidos da América. A Figura 3-16 mostra os valores médios de densidade de potência estimados para subtipos de energia renovável, movendo-se da biomassa na extremidade inferior, através da energia hidrelétrica, eólica, geotérmica e solar em ordem crescente.

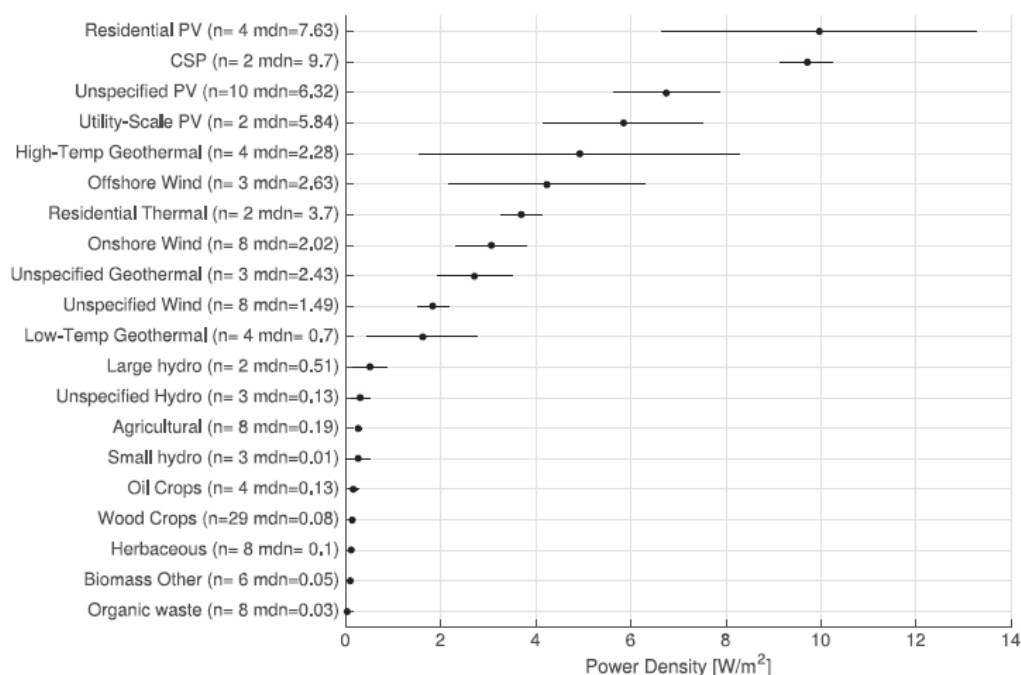


Figura 3-16 Valores médios de densidade de potência estimados para subtipos de energia renovável (Zalk & Behrens, 2018)

Apesar de a energia solar apresentar maior densidade de potência como ponto positivo, em contrapartida, a energia eólica apresenta o facto de que as áreas ocupadas pelos parques eólicos não impedem o desenvolvimento da agricultura, pecuária ou outras atividades de exploração de interesse económico (Porciúncula, 2019).

A seguir são exibidos na Tabela 3-6, os resultados obtidos por Zalk & Behrens (2018), os quais são comparados com os limites encontrados por Smil (2016).

Tabela 3-6 Comparação de valores de densidade de potência encontrados na literatura (Zalk & Behrens, 2018)

Comparison of power density values in prominent literature.

Energy system	Results			Smil 2016
	mdn	($\mu \pm \text{sem}$)	n	
Natural Gas	482.1	1283.9 ± 702	7	200-2000
Coal	135.1	126.5 ± 12.9	34	100-1000
Unspecified PV	6.6	7.9 ± 1.5	9	4-9
Solar CSP	9.7	9.7 ± 0.4	2	4-10
Onshore wind	2.02	3.06 ± 0.7	8	0.5-1.5
Biomass	0.08	0.13 ± 0.02	63	0.5-0.6

As estimativas para gás natural, carvão e tecnologia solar apresentadas por Zalk & Behrens (2018), encontram-se dentro dos intervalos encontrados por Smil (2016). No entanto, um valor menor foi calculado para sistemas de energia de biomassa e um valor maior para a eólica, uma vez que os fatores de capacidade de Smil representam valores característicos do início dos anos 2000 (Zalk & Behrens, 2018).

3.4.4 Energia renovável variável e aspetos da integração na rede elétrica

Quando se trata do combate às mudanças climáticas, as tecnologias solar fotovoltaica e eólica são as principais bases na pavimentação do caminho para a sustentabilidade e conservação de energia. Entretanto, do ponto de vista da qualidade de energia, a energia FV e a energia eólica têm algumas desvantagens, sobretudo devido à variabilidade de disposição do recurso e a geração distribuída, que continuam sendo um desafio para os operadores da rede ao programar a produção de energia (Zsiborács et al., 2019).

As fontes eólica e solar são tidas como fontes de Energia Renovável Variável (ERV), ou seja, referem-se a sistemas que fornecem quantidades variáveis de energia. A integração de ERV impõe desafios para a gestão da rede de eletricidade uma vez que a disponibilidade de vento e radiação solar variam no tempo e não podem ser sempre garantidas, além de que os operadores da rede precisam fazer corresponder a procura por eletricidade com a oferta em todos os momentos ao longo do dia.

Enquanto a energia hidrelétrica, geotérmica, biomassa e biogás fornecem energia de forma mais constante e até controlável, as tecnologias eólica e solar estão relacionadas a uma produção variável devido ao comportamento diurno e sazonal do vento e da radiação solar. De modo a amortecer os impactos desta variabilidade e ajudar a manter a frequência e a tensão da rede, podem ser empregues algumas soluções como o uso de apoio através de recursos despacháveis ou dispositivos de armazenamento de energia (Chang et al., 2013).

Apesar da variabilidade característica da produção solar fotovoltaica e da eólica, que podem afetar a qualidade da estabilidade e a confiabilidade da rede de serviços públicos, estes são os sistemas FER mais avançados e mais amplamente integrados à rede elétrica em diversas áreas do mundo. Devido aos seus altos níveis de integração, muitos modelos e requisitos regulatórios foram emitidos para garantir a operação estável e segura do sistema de energia (Al-Shetwi et al., 2020).

Com o aumento progressivo da participação da eletricidade renovável variável na produção global de eletricidade, um número crescente de jurisdições está a direcionar os seus esforços políticos para garantir a integração bem-sucedida da ERV no sistema geral de energia. As políticas de melhoria da infraestrutura de eletricidade e de racionalização do processo de aprovação de interconexão para a integração dos sistemas de energia renovável focam principalmente no aumento da flexibilidade e controlo dos sistemas, bem como na resiliência da rede (REN21, 2020).

- **Integração na rede elétrica**

A integração de energia fotovoltaica e eólica na rede elétrica é um desafio, uma vez que as redes existentes e as suas capacidades foram estabelecidas para atender a fontes de energia menos ou não variáveis, produção de energia despachável e picos de carga previsíveis. Em geral, as redes de eletricidade de hoje são capazes de lidar apenas com um baixo aumento na carga como resultado

das capacidades ERV recém-integradas, porém um aumento maciço de carga pode causar discrepâncias no sistema de macroenergia (Zsiborács et al., 2019).

A Agência Internacional de Energia estudou a integração da ERV em detalhe, usando diversos modelos para os Estados Unidos, a União Europeia e a Índia. Os resultados demonstram a importância da estruturação do sistema elétrico e das medidas de integração da ERV. Em geral, ações simples como a expansão da rede e a implantação de formas flexíveis de produção são suficientes para integrar a ERV e garantir um sistema elétrico eficaz, desde que sua parcela no fornecimento total de eletricidade seja de no máximo 25%. Quando a participação de eletricidade variável excede este valor, faz-se necessário um conjunto de medidas de integração mais abrangente, incluindo o armazenamento de energia e ações que alterem a procura de eletricidade, conhecido como gestão pelo lado do consumo (Sales & Uhlig, 2017).

Esta variabilidade e incerteza, próprias das fontes ERV, pode causar custos adicionais de integração na rede elétrica tanto para os sistemas de energia quanto para os consumidores. No estudo de Yao et al. (2020), foram investigados os custos de integração de energia eólica e solar. Os resultados mostraram que os custos de integração não são negligenciáveis quando a ERV substitui a capacidade existente, e que os custos aumentam conforme o aumento da taxa de penetração da ERV. Além disso, a energia solar mostrou ter um custo de integração menor que a energia eólica, devido à saída de energia mais consistente com a curva de carga da procura energética na escala de tempo.

Segundo Hirth, Ueckerdt, & Edenhofer (2015), geralmente, a energia solar fotovoltaica é instalada mais próxima dos consumidores do que a eólica *onshore*, que por sua vez está mais próxima do que a eólica *offshore*. Assim, os custos relacionados à rede são mais baixos para a energia solar do que para a eólica *onshore* e mais altos para a eólica *offshore*. As redes de transmissão fortes e altamente interligadas, como em muitas partes da Europa continental, apresentam custos de integração mais baixos em comparação às redes de grandes países com malhas fracas, por exemplo, a região nórdica e várias regiões nos EUA.

Para adequar a produção de ERV à carga, são necessárias medidas adicionais de flexibilidade e balanço. Tais melhorias podem ser proporcionadas por sistemas descentralizados, que empregam múltiplos portadores de energia em combinação com tecnologias de conversão e armazenamento. Estas combinações permitem que o excedente de energia renovável seja armazenado e convertido entre diferentes vetores, o que pode ajudar a equilibrar a carga com o consumo e assim oferecer flexibilidade adicional na gestão da energia (Grosspietsch, Saenger, & Girod, 2019).

- **Sistemas de energia descentralizados**

Historicamente, a produção centralizada de energia tem sido utilizada para satisfazer o consumo de eletricidade. Na geração centralizada de energia, os recursos energéticos primários, na sua maioria, são não renováveis, tais como o carvão e o gás natural. Após a crise mundial do petróleo nos anos 70, a maioria dos governos começou a executar políticas de incentivo para aumentar a parcela dos recursos energéticos domésticos, apoiando recursos renováveis e

descentralizados, como a energia eólica e a solar. A maioria dos recursos de energia descentralizada está na forma de FER, que por sua vez têm comportamento variável e assim acabam por dificultar a previsão da produção de energia. (Cali & Fifield, 2019).

A energia solar fotovoltaica (FV) e a eólica apresentam-se como as tecnologias de energia renovável mais populares, sendo a FV solar usada predominantemente em ambientes descentralizados localizados próximos aos consumidores. Isto cria uma mudança no setor energético em direção à produção descentralizada, ou distribuída, com unidades de produção menores (Grosspietsch, Saenger, & Girod, 2019).

Atualmente, existem muitos sistemas de energia descentralizados no mundo, incluindo microrredes, redes inteligentes, grupos de produção distribuídos e centrais elétricas virtuais. Estes sistemas podem ajudar a resolver tarefas essenciais como a otimização e a estabilização dos sistemas de energia, tornando-os mais flexíveis, integrando fontes renováveis de energia e centros de controle inteligente na produção e distribuição de energia (Urishev, 2019).

Segundo Adil & Ko (2016), os sistemas de energia descentralizados (SED) concebidos com base nas tecnologias de energias renováveis oferecem uma abordagem limpa e inerentemente resiliente para alcançar as metas do desenvolvimento sustentável. A literatura observa quatro vantagens características dos tais SED sobre os sistemas de energia descentralizados: a capacidade de oferecer emissões de baixo a zero carbono; compensar investimentos de capital intensivo para aprimoramentos da rede; dar independência energética local e segurança da rede; e motivar o capital social e a coesão (Adil & Ko, 2016).

- **Previsibilidade do recurso**

Uma das ferramentas usadas para a flexibilidade na produção de eletricidade variável é a previsão de energia renovável, que serve para reduzir a incerteza associada à produção de energia eólica e solar. A previsão de energia eólica tem sido usada na maioria das operações de serviços públicos por pelo menos cinco anos, e o uso de previsões na produção de energia solar está a ganhar uso rapidamente e está a tornar-se cada vez mais difundido (Hodge et al., 2018).

O método de previsão da produção de energia renovável depende de variáveis meteorológicas. A previsão de energia solar concentra-se principalmente no uso de painéis solares fotovoltaicos e está relacionada com parâmetros como a radiação solar e as condições atmosféricas. A energia eólica é a fonte de energia renovável mais favorável como alternativa ao combustível fóssil para a produção de eletricidade, além de se destacar entre as tecnologias com menor custo. A previsão do vento depende de fatores como temperatura, humidade, direção e velocidade do vento (Natarajan & Karatampati, 2019).

As previsões eólicas e solares evoluíram separadamente, mas compartilham alguns métodos comuns. Na escala do tempo do dia seguinte, modelos numéricos de previsão meteorológica são frequentemente usados como base tanto para a irradiação solar quanto para a previsão da

velocidade do vento, que então são melhorados através do uso de outros métodos específicos (Hodge et al., 2018).

Prever com boa precisão a energia elétrica produzida por parques eólicos ou fotovoltaicos (e consumida pela carga) permite antecipar as ações do operador da rede elétrica, melhorar a gestão do balanço elétrico e, especialmente, garantir uma melhor segurança da rede elétrica. Uma boa previsão da variabilidade dos recursos solares e eólicos permite gerenciar de maneira mais eficiente o sistema elétrico em geral, então o impacto negativo do custo dos sistemas ERV sobre a rede elétrica é diminuído e, finalmente, a eficácia destes sistemas é aumentada (Notton et al., 2018).

Segundo Notton et al. (2018), um método de previsão confiável tanto para a produção eólica como solar terá uma influência muito positiva com diversos benefícios, nomeadamente: a redução dos custos de integração; a redução dos custos operacionais médios; a diminuição dos *deficits* de reserva; o aumento da percentagem de redução de *curtailment*.

3.4.5 Armazenamento

Geralmente, as tecnologias das energias renováveis movidas a energia solar e eólica, de natureza variável, sofrem de um menor fluxo de energia (saída de energia por unidade de área útil) em comparação às fontes fósseis. Estes fatores levam a necessidade do uso de dispositivos de armazenamento de energia para melhorar sua capacidade de despacho (Yaqoot, Diwan, & Kandpal, 2016).

Os sistemas de armazenamento de energia podem ajudar a minimizar o *curtailment* de FER e suavizar a produção destes sistemas. O novo projeto do mercado de eletricidade da UE inclui o incentivo às autoridades reguladoras para investir em instalações de armazenamento de energia. Em 2019, Portugal anunciou planos para realizar o seu primeiro leilão de capacidade para energias renováveis despacháveis e incluiu o armazenamento com baterias entre as tecnologias aceitáveis (REN21, 2020).

Em princípio, a energia renovável pode ser transformada noutra forma de energia armazenável e ser transformada de volta quando necessário. As principais técnicas de armazenamento de energia podem ser classificadas como: 1) Sistemas magnéticos: armazenamento de energia magnética supercondutora; 2) Sistemas eletroquímicos: baterias, células de combustível, supercapacitores; 3) Sistemas hidráulicos: bombas de água; 4) Sistemas pneumáticos: compressores de ar; 5) Sistemas mecânicos: volantes de inércia (*flywheels*); 6) Sistemas térmicos: aquecedores de sal fundido, água ou óleo (Olabi, 2017).

O armazenamento de energia em sistemas de produção eólica pode ser alcançado de diferentes maneiras (Ould Amrouche et al., 2016). As principais tecnologias de armazenamento mais utilizadas em sistemas eólicos estão resumidas na Tabela 3-7, bem como os respetivos dados de escala de tempo e eficiência.

Tabela 3-7 Tecnologias de armazenamento mais utilizadas em sistemas de conversão de energia eólica (Ould Amrouche et al., 2016)

Most used storage technologies in wind energy conversion systems.					
Energy storage (ES)	Technologies		Time scale	Application in WECS	Efficiency
Electrochemical	Batteries (BS)	Nickel–cadmium storage (NCS)	Medium (minutes)	X	60–70
		Nickel–hydrogen storage (NHS)			
		Nickel–metal hydride			
		Nickel–zinc			
		Sodium–sulfur storage (NaS)			86–89
		Sodium–nickel chloride			
		Lithium–ion storage (LIS)			90–95
		Zebra			90
	Flow batteries storage (FBS)	Lead–acid storage (LAS)	Medium (hour)	X	75–85
		Flooded (FLA) Valve-regulated (VRLA).			75–85
Hydrogen (HES)		Vanadium redox storage (VRS)	Long	X	70–80
		Polysulphide bromide storage (PSBS)			75
Mechanical (MES)		Zinc bromine storage (ZnBrS)	Short (seconds)	X	75–80
		Hydrogen (HES)			65–75
		Flywheel energy storage (FES)			80–90
		Pumped hydro energy storage (PHES)			70–85
Electrical (Eles)		Compressed air energy storage (CAES)	Long (hours)	X	64–75
		Super capacitor energy storage (SES)			90–98
Electromagnetic (ElmES)		Superconducting magnetic energy storage (SMES)	Short (seconds)		90–99
Thermal (TES)		Thermal (TES)	Medium	X	80–90

- **Supercondutores**

O armazenamento de energia através de supercondutores magnéticos (ou SMES, do inglês *superconducting magnetic energy storage*) consiste essencialmente numa bobina de material supercondutor arrefecido criogenicamente, um sistema de condicionamento de energia e um sistema de refrigeração. A energia é armazenada no campo magnético criado pelo fluxo de corrente contínua na bobina. A principal vantagem deste sistema é sua grande eficiência, podendo ser aplicado em sistemas que requerem operação contínua e grande número de ciclos completos de descarga de carga. No entanto, em sistemas de conversão de energia eólica, SMES geralmente não são usados devido à bobina que é muito sensível às mudanças de temperatura (Ould Amrouche et al., 2016).

- **Supercapacitores**

O armazenamento de energia através de supercapacitores (ou SES, do inglês *super capacitor energy storage*) é feito através destes dispositivos que utilizam camadas líquidas polarizadas entre o eletrólito iónico condutor e o elétrodo condutor para aumentar a capacitância. Eles permitem uma densidade de energia muito maior, com uma alta densidade de potência, mas a tensão varia com a energia armazenada e tem uma maior absorção dielétrica. No sistema de conversão de energia eólica, os SES são usados para suprimir as flutuações rápidas da energia eólica, mas numa escala de tempo pequena. Assim, eles podem ser considerados apenas como um suporte para sistemas eólicos e são geralmente combinados com um sistema de baterias num sistema de armazenamento híbrido (Ould Amrouche et al., 2016).

- **Bombagem**

O armazenamento hidrelétrico por bombagem (ou PHS, do inglês *pumped hydro storage*) é a tecnologia de armazenamento de energia em grande escala mais amplamente implantada. O PHS armazena energia na forma de energia potencial gravitacional, bombeando água entre dois

reservatórios localizados em alturas diferentes. Quando o consumo de eletricidade é baixo, a água é bombeada da extremidade inferior em direção ao reservatório de água superior. Foram explorados vários projetos que integram plantas PHS com outras fontes de ERV, por exemplo, plantas híbridas de PHS que dependem de energia eólica para bombeamento frequente, foram propostas como soluções economicamente viáveis em diferentes localizações geográficas (IRENA, 2017).

- **Ar comprimido**

Os sistemas de armazenamento de energia de ar comprimido (ou CAES, do inglês *compressed air energy storage*) armazenam energia na forma de ar comprimido num reservatório. Reservatórios de ar de grande volume são essenciais para plantas CAES de grande escala. Uma alternativa para reduzir os custos é encontrar cavernas de armazenamento adequadas já existentes, como depósitos antigos de sal natural ou reservatórios de gás esgotados que podem ser condicionados para este uso (IRENA, 2017).

- **Volantes de inércia**

O sistema de armazenamento de energia com recurso a volantes de inércia (ou FES, do inglês *flywheel energy storage*) inclui um cilindro com um eixo conectado a um gerador elétrico. A energia elétrica é convertida pelo gerador em energia cinética que é armazenada através do aumento da velocidade de rotação do volante. A energia armazenada é convertida em energia elétrica através do gerador, diminuindo a velocidade de rotação do volante de inércia. Para aplicações de FES em sistemas eólicos isolados, o custo de armazenamento ainda representa uma grande restrição económica. Entretanto, esta tecnologia adapta-se bem às mudanças bruscas de energia do gerador eólico (Ould Amrouche et al., 2016).

- **Baterias**

As baterias são uma tecnologia de armazenamento bem estabelecida com a vantagem de serem modulares e escalonáveis. Os sistemas de armazenamento de energia em baterias permitem o armazenamento de energia a um baixo custo e oferecem uma rápida resposta na compensação de energia ativa (Sattar et al., 2020).

Nos sistemas FER, os dispositivos de armazenamento de energia geralmente utilizados são as tradicionais baterias de chumbo-ácido onde a energia renovável é armazenada e, posteriormente, fornecida para o processo de remediação. Este modo operacional evita as flutuações da produção de eletricidade e permite trabalhar com horas de produção baixas ou nulas. Deste modo, mesmo quando a irradiação solar ou o fluxo de vento são limitados pelas condições climáticas, o uso de baterias pode permitir o funcionamento contínuo da tecnologia fotovoltaica ou eólica. Entretanto, estão envolvidas perdas de energia devido às eficiências de conversão entre a energia química e elétrica (Ganiyu & Martínez-Huitle, 2020).

As baterias de chumbo são os dispositivos de armazenamento mais úteis, no entanto as baterias recarregáveis, supercapacitores e baterias de fluxo *redox* (ou RFBs, do inglês *redox flow batteries*) são tecnologias atuais importantes. As baterias de íões de lítio e as RFBs destacam-se como soluções promissoras para o armazenamento em sistemas FER. As baterias de íão-lítio são baseadas em reações controladas por difusão que ocorrem nos elétrodos em massa, enquanto as RFBs transformam energia elétrica em energia química alterando a composição de um eletrólito líquido composto de espécies de íões. As principais vantagens destas tecnologias são o desacoplamento da capacidade e da potência que permitem a melhor gestão e utilização da energia renovável (Ganiyu & Martínez-Huitle, 2020).

- **Hidrogénio**

O armazenamento de energia com hidrogénio (ou HES, do inglês *hydrogen energy storage*) é tida como uma tecnologia-chave para o avanço das aplicações de energia renovável na produção de eletricidade, incluindo fontes eólica e solar. Diferentes modos de armazenamento de hidrogénio podem ser usados: comprimido, liquefeito, hidreto metálico, etc. Numa célula de combustível, hidrogénio e oxigénio reagem para formar água para produzir eletricidade (Ould Amrouche et al., 2016).

Num sistema eólico ou num sistema híbrido eólico/fotovoltaico (ou hidrelétrico) que fornece uma carga, um sistema de bateria pode ser adicionado para armazenamento de curto prazo e também para estabilizar o sistema contra flutuações de fontes de energia, mas para um armazenamento de longo prazo, pode-se usar um eletrolisador acoplado a um tanque de armazenamento de hidrogénio. O hidrogénio é o combustível com maior densidade energética por unidade de massa em comparação aos demais, HES com todas suas vantagens é uma das melhores soluções de armazenamento para suprimir flutuações rápidas da energia eólica (Ould Amrouche et al., 2016).

3.4.6 Impactes ambientais

Geralmente, a energia eólica é considerada uma opção mais ecológica em comparação com outras fontes de energia baseadas em tecnologias fóssil ou nuclear, uma vez que seus sistemas não causam risco aos seres humanos ou ao meio ambiente através de resíduos radioativos e altas emissões de GEE. No entanto, ela ainda provoca alguns efeitos sobre a vida humana e o meio ambiente, incluindo o alto nível de ruído causado pelas pás do rotor, impactes na fauna e na flora e efeitos visuais na paisagem (Nazir et al., 2019).

Dentre os efeitos negativos mais críticos da tecnologia eólica constam os danos no habitat para a flora e a fauna, a produção de ruído e os efeitos visuais como o chamado “efeito *flicker*”, relacionado com a cintilação de sombra causada pelo movimento das pás da turbina e reflexo da luz do sol, podendo causar perturbação aos residentes que vivem na área ao redor da central. Este efeito

pode ser minimizado otimizando a suavidade da superfície da pá do rotor e revestindo a turbina com material menos reflexivo (Nazir et al., 2020).

Embora as energias renováveis solar e eólica sejam consideradas essenciais na transição energética e no controlo das alterações climáticas, são tecnologias que causam impactes ambientais adversos. Dentre os efeitos negativos considerados no caso da energia solar fotovoltaica destacam-se a perda de habitats, o uso da terra, da água e de materiais tóxicos na fabricação dos sistemas. Enquanto isso, o uso de turbinas eólicas pode reduzir, fragmentar ou degradar o habitat para a vida selvagem, marinha e das plantas (Ganiyu & Martínez-Huitle, 2020).

Segundo Wu et al. (2018), os impactes ambientais do desenvolvimento da bioenergia resumem-se em efeitos negativos sobre os ambientes circundantes, consistindo em impactes na quantidade e qualidade da água, emissões de GEE, influência na biodiversidade devido ao uso da terra e erosão do solo.

Dentre os vários impactes dos projetos hidrelétricos sobre o meio ambiente listam-se: o efeito negativo sob a qualidade da água; barreiras migratórias que impedem o fluxo dos rios e afetam o habitat da vida aquática; as emissões de gases de efeito estufa que ocorrem nas fases de construção, operação, manutenção e desativação da central hidrelétrica; sedimentação; mudanças no nível da água, no tempo e na temperatura, que afetam o ecossistema terrestre e aquático circundante; além de perda da biodiversidade e dos ecossistemas como resultado da limpeza da terra e da remoção da vegetação natural (Mussa, 2018).

Cada fonte de energia tem as suas próprias potencialidades e impactes positivos e negativos relacionados aos efeitos na saúde humana e nas mudanças climáticas. Apesar da ampla perspectiva ambiental e política de incentivos às FER, os impactes e riscos relativos devem ser considerados com cuidado pelo governo e pelas autoridades legislativas. Além disso, estes também devem procurar ativamente soluções tecnológicas para as consequências adversas da produção renovável e implementar políticas para minimizar conflitos e perturbações nos meios de subsistência, nas comunidades e no meio (Nazir et al., 2019)

- **Análise do ciclo de vida em termos do fator de emissão de CO₂**

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta que identifica e avalia o impacto ambiental de um produto ou serviço durante todo o seu ciclo de vida. A ACV é um dos métodos mais eficazes para avaliar a carga ambiental, identificando a energia e os materiais utilizados, bem como os resíduos e emissões liberados no meio ambiente (Huang, Gan, & Chiueh, 2017).

A metodologia de avaliação do ciclo de vida tem sido amplamente empregue para avaliar a produção de eletricidade, visto que os impactes ambientais associados à sua produção são considerados críticos para a sustentabilidade, tornando-se um importante elemento de pesquisa em vários países. Uma revisão crítica e abrangente de múltiplos estudos de análise dos principais aspetos e impactes ambientais neste campo foi elaborada por Barros et al.(2020).

Os resultados do estudo podem ser usados para promover ações de desenvolvimento e fomentar mudanças nas matrizes energéticas num contexto global. Uma entre as principais conclusões do estudo revela que as tecnologias eólica e solar têm dois dos menores índices de impacto na sua produção em termos de aquecimento global, em comparação com outras fontes (Barros et al., 2020).

A Tabela 3-8 expõe estimativas comparativas de análise do ciclo de vida para diferentes fontes de eletricidade em termos do fator de emissão de CO₂.

Tabela 3-8 Estimativas comparativas de análise do ciclo de vida para fontes de eletricidade (Nugent & Sovacool, 2014)

Comparative lifecycle estimates for sources of electricity.

Technology	Capacity/configuration/fuel	Mean estimate (g CO ₂ e/kWh)
Hydroelectric	3.1 MW, Reservoir	10
Biogas	Anaerobic Digestion	11
Hydroelectric	300 kW, Run-of-River	13
Solar Thermal	80 MW, Parabolic Trough	13
Biomass	Forest Wood Co-combustion with hard coal	14
Biomass	Forest Wood Steam Turbine	22
Biomass	Short Rotation Forestry Co-combustion with hard coal	23
Biomass	Forest Wood Reciprocating Engine	27
Biomass	Waste Wood Steam Turbine	31
Wind	Various sizes and configurations	34
Biomass	Short Rotation Forestry Steam Turbine	35
Geothermal	80 MW, Hot Dry Rock	38
Biomass	Short Rotation Forestry Reciprocating Engine	41
Solar Photovoltaic	Various sizes and configurations	50
Nuclear	Various reactor types	66
Natural Gas (Conventional)	Various combined cycle turbines	443
Natural Gas (Fracking)	Combined cycle turbines using fuel from hydraulic fracturing	492
Natural Gas (LNG)	Combined cycle turbines utilizing LNG	611
Fuel Cell	Hydrogen from gas reforming	664
Diesel	Various generator and turbine types	778
Heavy Oil	Various generator and turbine types	778
Coal	Various generator types with scrubbing	960
Coal	Various generator types without scrubbing	1,050

O estudo de Nugent & Sovacool (2014) examinou 153 estudos de ciclo de vida de emissões equivalentes de gases de efeito estufa para turbinas eólicas e painéis solares para uma avaliação mais relevante e encontrou uma gama de intensidades de emissões para cada tecnologia, como um valor médio de 34 gCO₂-eq/kWh para a energia eólica e 50 gCO₂-eq/kWh para a energia solar fotovoltaica (Nugent & Sovacool, 2014).

O estudo de Nautiyal & Goel (2020) reuniu valores levantados em diversas publicações do fator de emissão de GEE associados à produção de energia hidrelétrica e constatou que estes números variam dentro da faixa de 6 e 75 gCO₂-eq/kWh. Esta variação dos resultados pode ser justificada por fatores como o tempo de vida útil do projeto e metodologia utilizada (Nautiyal & Goel, 2020).

3.4.7 Riscos

Segundo Mustafa & Al-Mahadin (2018), há uma ampla gama de riscos relacionados com o transporte, a instalação, a operação e a manutenção de turbinas eólicas que afetam o meio ambiente e os trabalhadores das turbinas eólicas. Dentre os quais: o risco de transportar grandes peças e componentes de turbinas eólicas; os riscos dos trabalhadores relacionados à instalação e

manutenção de turbinas eólicas, como escorregar, tropeçar e cair; o impacto de espaços confinados e riscos de incêndio durante a manutenção; por último, no caso de localizações com clima frio, o acúmulo de gelo nas turbinas. Existem ainda outros tipos de riscos, entre eles os riscos elétricos, a queda de objetos e os riscos relacionados ao ruído (Mustafa & Al-Mahadin, 2018).

Há outros riscos relacionados a danos causados por intempéries. As pás da turbina estão sujeitas a altas cargas operacionais sob condições ambientais variáveis, que podem resultar em rachaduras, furos, delaminação e deformação. Embora as lâminas sejam tradicionalmente inspecionadas usando uma estratégia de manutenção baseada no tempo, estas inspeções são relativamente raras e dependem do que pode ser detectado visualmente pelo inspetor (Regan, Beale, & Inalpolat, 2017).

A questão do risco também exerce uma importância significativa para as aplicações de sistemas de painéis solares. Há possíveis perigos que podem afetar tanto o desempenho quanto a vida útil destes sistemas. Durante a fase de instalação os riscos são relacionados, sobretudo, ao perigo de incêndio, já na fase de operação às disfuncionalidades do painel solar. Em relação ao meio ambiente, danos provocados por intempéries e colisão de animais e por fim, riscos relacionados à tecnologia como defeitos no sistema de controle, no inversor ou no distribuidor (Wang et al., 2019).

Mesmo que os processos das biorrefinarias sejam muitas vezes percebidos como mais seguros do que os das refinarias tradicionais, e de menor impacto no meio ambiente, nos últimos anos foram observados acidentes no campo dos processos biológicos, resultando na libertação de substâncias perigosas, incêndios e explosões. Durante as diferentes fases do processo de produção da bioenergia há manipulação, processamento e recolha de materiais perigosos, podendo causar acidentes com perdas económicas, sociais, ambientais e ocupacionais (Seay et al., 2017).

De acordo com Yucesan & Kahraman (2019), diversos riscos estão envolvidos com a operação de centrais hidrelétricas, incluindo ferimentos, doenças, perigo de morte, danos no meio ambiente, em bens e em equipamentos. Em seu estudo, 20 possíveis fatores de risco foram avaliados, entre os quais se destacam: exposição a materiais perigosos, perigo de explosão, riscos de transporte de materiais pesados, risco de queda em reparos de manutenção, vazamentos e falhas no sistema de controle das turbinas (Yucesan & Kahraman, 2019).

3.4.8 Criação de emprego

Além de reduzir os impactos ambientais do setor energético, as tecnologias de produção de energia renovável estão a criar novas riquezas e tornando-se importantes criadores de empregos para o século XXI. A criação de empregos ao longo da duração da transição energética global é um aspeto importante a ser explorado (Ram, Aghahosseini, & Breyer, 2020).

O emprego nas energias renováveis no mundo inteiro foi estimado em 11,5 milhões em 2019, contra 11 milhões em 2018. A indústria solar fotovoltaica mantém o primeiro lugar, com 33% do total da força de trabalho de energia renovável. O setor de energia eólica suporta 1,2 milhões de

empregos. A Figura 3-17 exibe uma estimativa do número de empregos nas energias renováveis, por tecnologia (IRENA, 2014).

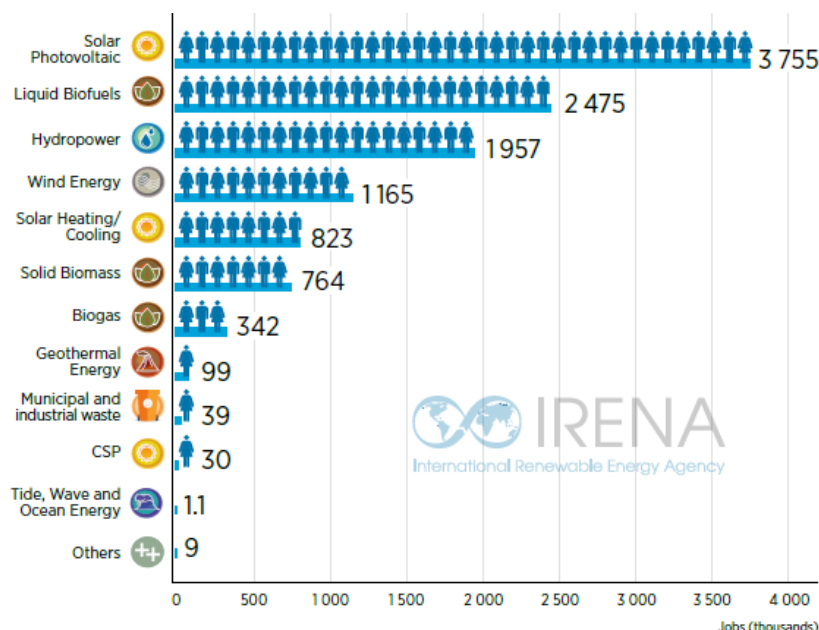


Figura 3-17 Estimativa do número de empregos nas energias renováveis, por tecnologia (IRENA, 2014)

As indústrias solar fotovoltaica, bioenergética, hidrelétrica e eólica têm sido as maiores empregadoras. Há menos informação disponível para outras tecnologias, como biogás, energia geotérmica, energia solar concentrada e energia oceânica ou das ondas. Estas outras tecnologias também empregam menos pessoas (IRENA, 2014).

É importante compreender o potencial de criação de empregos ao longo da cadeia de valor para tecnologias específicas, por exemplo, alguns países estão ativos em todas as categorias da cadeia de valor, desde a fase de pesquisa e desenvolvimento até à operação e manutenção de uma tecnologia renovável específica. Nestes casos, há criação de emprego ao longo de toda a cadeia de valor. Em outros países que estão apenas implantando a tecnologia, os empregos são criados apenas nas categorias de construção, operação e manutenção (Sooriyaarachchi et al., 2015).

Sooriyaarachchi et al. (2015) discutem no seu estudo os potenciais de trabalho que são criados, em vários países, ao longo da cadeia de valor das tecnologias das energias renováveis, tais como solar fotovoltaica, solar concentrada e eólica, além da cadeia de valor da eficiência energética. Segundo os autores, o setor das energias renováveis está de facto a criar empregos globalmente, porém, a dinâmica está a transferir empregos nalgumas categorias da cadeia de valor de alguns países para outros. Por exemplo, os empregos na indústria eram inicialmente concentrados nos EUA, na Europa e no Japão, porém, atualmente muitos destes empregos estão a migrar para a China e para a Índia, potências que se mostraram mais competitivas.

Segundo Ram, Aghahosseini & Breyer (2020), responsáveis pela primeira pesquisa que estima os empregos potenciais criados pelas tecnologias de armazenamento, as tecnologias de energias renováveis criam mais empregos que as tecnologias energéticas convencionais e, portanto, geram

maiores benefícios socioeconómicos. Os resultados da pesquisa indicam que as perdas de empregos nos setores de combustíveis fósseis e energia nuclear são mais do que compensadas pela criação de empregos nos setores de produção e armazenamento de energia renovável.

3.4.9 Universalidade

A energia eólica é uma das tecnologias de energia renovável que mais cresce, o seu uso está em ascensão em diversas localidades do mundo, onde algumas destas têm especialmente elevados níveis de disponibilidade e velocidade de vento. Para além da capacidade *onshore*, a energia eólica *offshore* oferece um grande potencial (IRENA, n.d.). A energia eólica é reconhecida como uma fonte promissora no setor de produção de energia limpa devido à suficiência do recurso eólico em todo o mundo (Tasneem et al., 2020). Assim como ocorre com outras fontes renováveis de energia, o recurso do vento está disponível mundialmente, sendo assim possível de ser aproveitado até mesmo em países mais pobres.

O vento é um recurso inesgotável capaz de fornecer quantidades significativas de energia para atender às necessidades de um país. Nos países em vias de desenvolvimento, um grande número de pessoas vivem em áreas rurais e não são servidas por energia elétrica. Grande parte das suas necessidades energéticas é atendida por fontes tradicionais e não elétricas, tais como força muscular humana e animal, lenha e resíduos animais. Para superar estes problemas, acredita-se que a energia eólica possa ser um bom substituto para produção de energia devido à sua disponibilidade, segurança e contributo para o estado global do meio ambiente (F. Dincer, 2011).

3.4.10 Modularidade

A modularidade, assim como os custos operacionais mais baixos e menores impactes ambientais, é um dos atributos das tecnologias FER das quais diferem consideravelmente e se destacam na comparação com as tecnologias tradicionais baseadas em combustíveis fósseis (I. Dincer & Rosen, 2005).

Segundo Shipurkar, Polinder & Ferreira (2016), modularidade é o conceito de sistemas que podem ser decompostos numa série de componentes independentes, os chamados módulos. Tradicionalmente, a modularidade tem sido usada para aumentar a capacidade de fabricação de máquinas, no entanto há outros aspetos importantes dos sistemas modulares no que diz respeito à produção por FER, sobretudo às tecnologias solar fotovoltaica e eólica, que garantem benefícios como oportunidades de melhorar a tolerância a falhas e reduzir o tempo de inatividade em casos de interrupção na produção destas centrais.

Particularmente, a modularidade (somada à capacidade de produção de energia a nível local) característica das FER oferece um potencial transformador-chave, sob o ponto de vista comunitário,

permitindo o desenvolvimento de iniciativas democráticas e participativas, que contribuem para a transição energética de uma forma mais profunda sob o aspeto social e não somente tecnológico. As tecnologias solar fotovoltaica, eólica *onshore* e o aquecimento por biomassa são particularmente atraentes para a comunidade devido à sua maturidade, simplicidade, confiabilidade e disponibilidade de prestadores de serviços técnicos, enquanto as tecnologias que exigem maiores investimentos são financeiramente pouco atraentes, como por exemplo, grande produção de energia hidroelétrica, eólica *offshore* e energia geotérmica. (Capellán-Pérez, Campos-Celador, & Terés-Zubiaga, 2018).

3.4.11 Microgeração residencial em meios urbanos

Atualmente, o sistema energético global está em fase de transição, na qual a integração de energias renováveis está entre as principais exigências. A energia eólica é uma alternativa importante para o fornecimento de energia limpa, por isso muitos esforços têm sido feitos para a busca pela sua ampla penetração em todos os setores. Em particular, atualmente, é importante analisar a viabilidade de implantar a tecnologia eólica em pequena escala para fornecer energia mais limpa e de menor custo no setor residencial (Borunda et al., 2020).

Nos últimos anos, a tecnologia de turbina eólica de pequena escala (ou SSWT, do inglês *small-scale wind turbines*) conectada à rede tem sido utilizada em empresas, fábricas, quintas e residências como produção distribuída para diminuir a pegada de carbono e reduzir os custos de eletricidade. Sob condições eólicas adequadas, os SSWTs podem gerar energia suficiente para pagar, em períodos de alguns meses ou alguns anos, o carbono emitido durante a sua produção, instalação e operação, e, posteriormente, para compensar as emissões da produção por combustíveis fósseis (Borunda et al., 2020).

Em Portugal, uma equipa de investigadores de diversas instituições nacionais em conjunto com o Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), desenvolveram uma turbina eólica concebida especialmente para ambientes urbanos. Trata-se de uma microturbina silenciosa, que funciona com pouca disponibilidade de vento e que pode ser instalada no topo de edifícios, em jardins ou em telhados com potencial de redução da fatura da eletricidade de uma casa. A T.Urban-H é um protótipo de uma microturbina de eixo horizontal com potência nominal de 2.5 kW e sua conceção representou um desenvolvimento pioneiro no setor a nível nacional (Pereira, 2011).

A tecnologia solar fotovoltaica representa uma importante fonte de energia renovável devido à sua funcionalidade em diferentes locais e aplicabilidade tanto em residências individuais quanto em centrais de energia em escala de serviço público. A produção de energia solar pode ser facilmente empregue em ambientes urbanos onde a eletricidade gerada é consumida pela população local. Os sistemas fotovoltaicos podem ser montados em telhados, fachadas e em outros locais disponíveis, como terrenos municipais abandonadas ou não utilizados (Kouhestani et al., 2019).

Ainda que o uso de painéis solares para a produção de energia residencial continue em crescimento, a aplicação de turbinas eólicas para este fim é insignificante, mesmo apesar da

variedade de pequenas turbinas comercialmente disponíveis. A maioria das centrais eólicas produz energia através da instalação de grandes turbinas de eixo horizontal em áreas rurais ou no mar, onde há muita disponibilidade de vento durante todo o ano. Entretanto, nas áreas urbanizadas, o recurso eólico pode não ser suficiente devido à alta variabilidade da direção do vento causada pelas estruturas e edifícios urbanos (Loganathan et al., 2019).

O estudo de Tasneem et al. (2020) desenvolveu uma revisão analítica sobre a aplicação de turbinas eólicas em meios urbanos. Foram explorados as perspectivas e os desafios da implementação de microssistemas eólicos urbanos e dentre as conclusões sublinhadas foi reconhecido o potencial destes sistemas como método suplementar para atender às necessidades atuais de energia, em conjunto com as centrais eólicas comerciais. O principal desafio identificado para o setor refere-se à avaliação do vento urbano turbulento e desordenado, levando à necessidade de pesquisas abrangentes e específicas sobre mapeamento eólico e concepção de turbinas para torná-los uma escolha de produção de energia viável e confiável.

A integração da energia eólica em edifícios encontra alguns desafios como os padrões irregulares do vento característicos do ambiente urbano, além dos elevados custos de manutenção. Entretanto, a sua aplicação pode ser bem-sucedida através de uma eficaz avaliação da disponibilidade do recurso, da escolha do tipo de turbina e da sua instalação (Mendes et al., n.d.).

Neste sentido, além do painel solar para a produção de energia doméstica, uma turbina eólica de eixo vertical também pode ser usada para complementar o consumo de energia quando há baixa disponibilidade de sol, devido à sua capacidade operacional sob condições de baixa velocidade de vento (Loganathan et al., 2019).

Sob o contexto de redes elétricas inteligentes Melhem, Moubayed, & Grunder (2016) sugerem a integração de sistemas fotovoltaicos residenciais com instalação de microturbinas eólicas para a produção de energia renovável junto às centrais convencionais devido à combinação superior entre estas duas fontes. O sistema fotovoltaico e o sistema de microturbinas eólicas complementam-se, uma vez que o pico de operação do sistema fotovoltaico é de dia, enquanto que para o vento é à noite e também numa época diferente do ano.

4. Resultados e Discussão

4.1 Análise dos fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica

4.1.1 Listagem das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças

A primeira etapa para a execução desta análise é representada na Tabela 4-1. Consiste na apresentação dos fatores explorados nas categorias de forças e fraquezas, inseridas no âmbito do ambiente interno, limitado pelas características e especificidades do setor da energia eólica, envolvendo elementos que dependem de aspetos do recurso e do desenvolvimento do serviço e da tecnologia.

Tabela 4-1 Matriz SWOT: Forças e Fraquezas (Elaboração Própria)

Ambiente Interno	
Forças:	Fraquezas:
<ul style="list-style-type: none"> • Notável em termos de capacidade instalada (IRENA, 2019a) • Importante contribuição na diminuição da pegada carbónica (IEA Wind, 2019) • Um dos LCOE mais baixos entre as renováveis (IEA Wind, 2019; IRENA, 2019b) • Rápidos e constantes avanços tecnológicos (Watson et al., 2019) • Armazenamento pode ser alcançado de diversas maneiras (Ould Amrouche et al., 2016) • Elevado potencial offshore a ser explorado (Díaz & Guedes Soares, 2020) • Criação de emprego ao longo de toda a cadeia de valor (Sooriyaarachchi et al., 2015) • Ocasão de repotenciação pelo fim da vida útil dos aerogeradores (Martínez et al., 2018) • Universalidade (Tasneem et al., 2020) • Modularidade (Shipurkar et al., 2016) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilidade do recurso (Zsiborács et al., 2019) • Incerteza associada à produção de energia (Hodge et al., 2018) • Integração afeta a estabilidade e a confiabilidade da rede elétrica (Al-Shetwi et al., 2020) • Necessidade de dispositivos de armazenamento (Yaqoot et al., 2016) • Degradação da fauna e flora (Ganiyu & Martínez-Huitile, 2020) • Produção de ruído (Nazir et al., 2019) • Efeitos visuais na paisagem (Nazir et al., 2019) • Riscos da instalação e operação das centrais produtoras (Mustafa & Al-Mahadin, 2018) • Vento urbano turbulento e desordenado dificulta a viabilização da geração de energia doméstica (Tasneem et al., 2020)

Dentre as forças identificadas para a tecnologia eólica como fonte geradora de energia destacam-se: a sua notável capacidade em termos de potência instalada; a sua importância na contribuição social tanto no suprimento de segurança energética, como na criação de empregos e na diminuição da pegada carbónica; os rápidos e constantes avanços tecnológicos, sobretudo no desenvolvimento dos aerogeradores; a sua competitividade em termos de custo nivelado de eletricidade; o grande potencial da energia eólica *offshore* a ser explorado e a possibilidade de repotenciação das centrais eólicas com a chegada do fim do ciclo de vida útil de seus aerogeradores.

A energia eólica tem sido uma das tecnologias renováveis de maior destaque nas últimas décadas e em termos de capacidade instalada total é a segunda principal tecnologia de fonte renovável (IRENA, 2019a). Para além dos benefícios relacionados às soluções de suprimento, acessibilidade e segurança energética sustentável e da criação de emprego, a energia eólica também gera uma importante contribuição na diminuição da pegada de emissões de CO₂ e na economia em taxas de emissões de carbono (IEA Wind, 2019).

As turbinas eólicas modernas derivam de avanços rápidos da sua tecnologia subjacente (Watson et al., 2019). As principais melhorias que denotam tais avanços estão relacionadas com o aumento das suas dimensões, de modo a aumentar o fator de capacidade e gerar maior acessibilidade ao vento (IRENA, 2019a). Esta evolução tecnológica levou a uma redução considerável no LCOE, tornando a energia eólica uma das opções mais baratas para a produção de energia. (IEA Wind, 2019).

À medida que a tecnologia *onshore* amadureceu, a eólica *offshore* passou a ganhar uma importância cada vez maior no contexto da transição energética (GWEC, 2020). O interesse na exploração eólica *offshore* está a aumentar significativamente em todo o mundo. O potencial eólico *offshore* pode ser considerado, atualmente num estado de implementação significativo e espera-se que cresça ainda mais rapidamente nos próximos anos (Díaz & Guedes Soares, 2020).

Uma parcela substancial da capacidade eólica mundial instalada chegará ao fim da sua vida útil nos próximos 10 anos. Na Europa, é previsto que 50% da capacidade instalada cumulativa atual atinja o fim da sua vida operacional até o ano de 2030 (IEA Wind, 2019). À medida que a vida útil das centrais eólicas se aproxima do seu fim, surge a oportunidade de repotenciá-las, através da substituição das antigas turbinas por equipamentos mais modernos que oferecem uma maior capacidade de produção de energia, aproveitando as estruturas já existentes (Martínez et al., 2018).

Os conceitos de universalidade e modularidade também foram identificados na categoria de forças. A universalidade confere a possibilidade do aproveitamento do recurso eólico na produção de energia até mesmo em países mais pobres, pelo facto de haver disponibilidade de vento em todas as partes do mundo, o que não ocorre com os recursos fósseis como o petróleo, por exemplo (Tasneem et al., 2020; F. Dincer, 2011). A modularidade refere-se a um dos atributos que garante benefícios como a oportunidade de melhorar a tolerância a falhas e reduzir o tempo de inatividade em casos de interrupção na produção dos sistemas eletroprodutores (Shipurkar, Polinder, & Ferreira, 2016).

As fraquezas identificadas relacionam-se sobretudo com a natureza variável do recurso eólico – que dificulta a integração na rede elétrica principal e gera a necessidade de dispositivos de armazenamento – além dos riscos e impactes ambientais causados pela instalação e operação das centrais eólicas.

Os riscos estão presentes em todas as fases do desenvolvimento e operação das centrais eólicas e referem-se aos riscos de exposição dos trabalhadores durante a instalação e manutenção dos aerogeradores, à queda de grandes objetos, perigo de incêndio, além dos riscos elétricos e aos danos causados por intempéries (Mustafa et al., 2017). Contudo, é importante ressaltar que a

existência de riscos não é uma particularidade que diz respeito somente à tecnologia eólica, outras fontes de energia, sejam elas renováveis ou não, também apresentam algum tipo de risco na sua implementação ou operação.

Embora a energia eólica seja considerada uma aliada à transição energética e ao controle das alterações climáticas, não deixa de ser uma tecnologia que causa impactos ambientais (Ganiyu & Martínez-Huitle, 2020). Dentre os efeitos produzidos sobre a vida humana e o meio ambiente, incluem-se impactos na fauna e flora, o alto nível de ruído produzido pelas pás do rotor e os efeitos visuais causados na paisagem (Nazir et al., 2019).

Assim como no caso dos riscos, o ocasionar de impactos ambientais também não se trata de uma fraqueza relativa somente à tecnologia eólica, a produção de energia por meio de outras tecnologias também é responsável por gerar diversos efeitos negativos ao meio ambiente, e no caso das fontes não renováveis os impactos são ainda mais expressivos.

Devido à variabilidade do recurso, a energia eólica caracteriza-se por apresentar incerteza associada à produção e pode afetar a confiabilidade e a qualidade da estabilidade da rede de serviço público (Zsiborács et al., 2019; Hodge et al., 2018; Al-Shetwi et al., 2020). Esta variabilidade e incerteza próprias das fontes ERV, não somente eólica mas também a solar, obriga à adoção de medidas adicionais de integração na rede elétrica e levam à necessidade de dispositivos de armazenamento de energia para melhorar sua capacidade de despacho (Yao et al., 2020; Yaqoot, Diwan, & Kandpal, 2016).

Em contrapartida, uma das forças identificadas refere-se às diversas alternativas de dispositivos de armazenamento disponíveis para os sistemas eólicos.

O armazenamento de energia na produção eólica pode ser alcançado de diferentes maneiras (Ould Amrouche et. al., 2016). Os dispositivos tipicamente mais utilizados são as baterias de chumbo-ácido, onde a ER é armazenada e, posteriormente, fornecida para o processo de remediação (Ganiyu & Martínez-Huitle, 2020). As baterias são uma tecnologia de armazenamento bem estabelecida com a vantagem de serem modulares e escalonáveis, permitem o armazenamento de energia a um baixo custo e oferecem uma rápida resposta na compensação de energia ativa (Sattar et al., 2020).

Ao explorar-se o uso de aerogeradores para a produção de energia a nível doméstico foi identificada uma fraqueza relacionada ao comportamento do recurso em meios edificados.

Apesar do potencial de microssistemas eólicos urbanos como método suplementar para atender às necessidades atuais de energia em conjunto com as centrais eólicas comerciais, o vento urbano turbulento e desordenado é reconhecido como um dos principais desafios do setor, que carece de pesquisas mais específicas do mapeamento eólico e da concepção de turbinas para torná-los uma opção viável e confiável (Tasneem et al., 2020).

Na continuidade da análise, a Tabela 4-2 apresenta os fatores explorados nas categorias de oportunidades e ameaças, inseridas no âmbito do ambiente externo e referem-se aos aspetos capazes de gerar circunstâncias oportunas ou ameaçadoras à uma maior penetração da energia eólica na matriz energética.

Tabela 4-2 Matriz SWOT: Oportunidades e Ameaças (Elaboração Própria)

Ambiente Externo	
Oportunidades:	Ameaças:
<ul style="list-style-type: none"> • Ações em prol do desenvolvimento sustentável (Macedo, 2016) • Metas políticas de controlo das alterações climáticas (IRENA, 2015; IEA Wind, 2019) • Aceleração da transição energética global (GWEC, 2020) • Hibridização (GWEC, 2020) • Produção de hidrogénio verde (Ayodele & Munda, 2019) • Políticas e incentivos de melhorias na infraestrutura e integração de sistemas FER (REN21, 2020; IRENA, 2019) 	<ul style="list-style-type: none"> • Morosidade e imprevisibilidade para permissão e autorização de projetos (IRENA, 2016) • Uso de mecanismos competitivos, como leilões e licitações que intensificam a concorrência de preços (REN21, 2019) • Competitividade entre as demais fontes de energia, em especial a tecnologia solar fotovoltaica (Watson et al., 2019) • Versatilidade e consolidação da tecnologia solar fotovoltaica na geração de energia residencial (Kouhestani et al., 2019)

No que se refere às oportunidades identificadas para o setor eólico, destacam-se as ações tomadas em prol do desenvolvimento sustentável, que unem países e firmam acordos para preservação do meio ambiente; a aceleração da transição energética e a adoção de metas políticas de controlo das alterações climáticas, que por sua vez utilizam como estratégia o fomento ao uso das fontes renováveis para a produção energética e geram apoio e investimentos ao setor; a tendência de soluções como a hibridização e o hidrogénio verde; e as políticas e incentivos de melhorias na infraestrutura e integração de sistemas FER.

Nas últimas décadas diversas ações foram tomadas de modo a promover o desenvolvimento sustentável, dentre as mais importantes, o Protocolo de Kyoto em 1997 e o Acordo de Paris em 2015 (Macedo, 2016). Recentemente a Comissão Europeia firmou o Acordo Verde Europeu, que promete ampliar e fortalecer a política climática da UE para que se torne a Europa, o primeiro continente neutro em termos climáticos até o ano de 2050 (Claeys, Tagliapietra, & Zachmann, 2019). Neste contexto, o desenvolvimento da energia eólica é tido como um dos elementos essenciais para se alcançar um balanço energético capaz de cumprir com os objetivos de controlo das alterações climáticas, auxiliando na redução das emissões de CO₂ para conter o aumento da temperatura da Terra (IEA Wind, 2019).

Mecanismos de apoio e o desenvolvimento tecnológico possibilitaram o notável crescimento da energia eólica, colaborando com a transição energética mundial no objetivo de criar um futuro baseado na produção de energia sustentável (Rebelo, 2019). Após a queda acentuada do LCOE e a aceleração da transição energética, as perspectivas de mercado para a indústria eólica global permanecem positivas (GWEC, 2020).

As metas das energias renováveis desempenham um papel crucial no cenário global de energia, fornecendo uma visão geral das tendências do mercado através do direcionamento de oportunidades (IRENA, 2015). Para além de estabelecerem metas para as fontes de energia renováveis e para a energia eólica, muitos países projetam mecanismos de mercado, promulgam políticas de energia e financiam pesquisas (IEA Wind, 2019).

A hibridização cria oportunidades para aumentar a participação de energias renováveis na rede. Novas soluções híbridas são aplicadas cada vez mais, não só em mercados maduros como também em emergentes, para apoiar a integração de energia eólica e de outras fontes renováveis. Os principais agentes interessados na indústria eólica também participam em iniciativas para acelerar a colaboração da indústria com setores como o do hidrogénio. (GWEC, 2020).

O desenvolvimento da economia do hidrogénio através do seu uso como potencial substituto do combustível fóssil é uma das soluções promissoras para substituir a atual economia dependente de carbono, especialmente quando produzido por uma fonte sustentável (Ayodele & Munda, 2019). Neste contexto, a hibridização e o hidrogénio verde são apontados como ferramentas importantes para criar novas oportunidades para o setor eólico.

Com o aumento progressivo da participação da eletricidade renovável variável na produção global, as autoridades estão a direcionar, cada vez mais, os seus esforços políticos de modo a garantir a integração bem-sucedida da ERV no sistema geral de energia. As políticas de melhorias da infraestrutura de eletricidade e de racionalização do processo de aprovação de interconexão para integração de sistemas FER, focam principalmente no aumento da flexibilidade e no controlo dos sistemas, bem como na resiliência da rede (REN21, 2020). A extensão da rede e as melhorias de infraestrutura podem oferecer uma grande oportunidade para os desenvolvedores de centrais eólicas (IRENA, 2019).

Foram identificadas como potenciais ameaças ao desenvolvimento e crescimento do setor eólico: a morosidade dos processos de obtenção de autorização dos projetos (uma ameaça comum às outras tecnologias renováveis); o fim dos iniciais regimes de subsídios e a atual adoção de mecanismos competitivos como leilões e licitações que intensificam a concorrência de preços e a competitividade entre as demais tecnologias, em especial a solar fotovoltaica.

O setor da energia eólica enfrenta obstáculos ao seu desenvolvimento no que se refere à morosidade e à imprevisibilidade relacionadas aos processos de licenciamento dos seus projetos. Para reduzir estes riscos, legisladores de políticas podem introduzir esquemas regulatórios apropriados e definir ações específicas para simplificar processos e desbloquear os principais entraves envolvidos (IRENA, 2016).

Embora a queda dos preços tenha ajudado a deslocar a energia eólica para novos mercados, observa-se nos últimos anos uma tendência contínua de passagem dos antigos esquemas de subsídios para a adoção de mecanismos mais competitivos, como leilões e licitações, que resultam em intensa concorrência de preços e impõem desafios aos fabricantes e desenvolvedores do setor (REN21, 2019; IEA Wind, 2019).

Diante da expectativa atual de que os próximos desenvolvimentos sejam livres de subsídios, é preciso garantir a competitividade em termos de custos em comparação ao uso de combustíveis fósseis e outras fontes de energia renováveis concorrentes, sobretudo a solar fotovoltaica (Watson et al., 2019).

A tecnologia solar fotovoltaica representa uma importante fonte de energia renovável devido à sua funcionalidade em diferentes locais e aplicabilidade tanto em residências individuais quanto em centrais de energia em escala de serviço público. A produção de energia solar pode ser facilmente realizada em ambientes urbanos onde a eletricidade gerada é consumida pela população local. Os sistemas fotovoltaicos podem ser montados em telhados, fachadas ou em outros locais disponíveis, como terrenos municipais abandonados (Kouhestani et al., 2019).

4.1.2 Interpretação e inter-relação

A Tabela 4-3 ilustra as quatro abordagens de interpretação da matriz da análise *SWOT*, composta por quatro quadrantes resultantes da inter-relação entre as categorias de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.

Tabela 4-3 Matriz SWOT: Interpretação e inter-relação da análise dos fatores que influenciam evolução da penetração da energia eólica (Elaboração Própria)

Ambiente Externo	Ambiente Interno	
	Forças	Fraquezas
Oportunidades	Abordagem agressiva: <ul style="list-style-type: none"> • Crescimento e amadurecimento da energia eólica corrobora a transição energética na procura pelo futuro sustentável (Rebelo, 2019) • Energia eólica offshore adotada por governos e instituições como o próximo ponto de viragem na transição energética (GWEC, 2020) • Produção de hidrogénio verde alimentada por energias renováveis considerada como requisito fundamental para a transição energética (GWEC, 2020) • Dentre as fontes renováveis, a eólica offshore tem o maior potencial para produzir hidrogénio sustentável (GWEC, 2020) 	Abordagem defensiva: <ul style="list-style-type: none"> • Natureza variável e produção distribuída ainda configuram um desafio para a operação da rede elétrica, quando a participação de eletricidade variável excede 25% é necessário um conjunto de medidas de integração mais abrangente (Sales & Uhlig, 2017; Zsiborács et al., 2019) • Variabilidade e imprevisibilidade do recurso, causam custos adicionais de integração na rede elétrica (Yao et al., 2020) • Impactes ambientais e riscos precisam ser considerados pelas autoridades legislativas, que devem buscar soluções técnicas e implementar políticas para minimizar conflitos e perturbações nas comunidades e no meio (Nazir et al., 2019)
Ameaças	Abordagem de segmentação: <ul style="list-style-type: none"> • O setor enfrenta desafio da intensificação da concorrência de preços com avanços tecnológicos contínuos na busca pelo aumento da produção de energia, da eficiência do sistema e redução de custos (REN21, 2019) • Energia eólica dispõe de um dos menores índices de impacto em sua geração em termos de aquecimento global em comparação com outras fontes (Barros et al., 2020) • Indicação de integração de microturbinas eólicas aos painéis FV residenciais devido à complementariedade dos sistemas (Melhem et al., 2016) 	Abordagem de desinvestimento: <ul style="list-style-type: none"> • Uso de painéis solares para geração de energia residencial continua a crescer, enquanto o uso de microturbinas eólicas é insignificante devido as dificuldades no aproveitamento do recurso em meios urbanos (Loganathan et al., 2019) • Oposição aos projetos eólicos por parte de ativistas ambientais que beneficiam da morosidade dos processos de aprovação intensificando a barreira administrativa enfrentada pelas empresas promotoras (Portal Energias Renováveis, 2018)

Na abordagem agressiva, o somatório das forças embasam o crescimento e amadurecimento da energia eólica, evidenciando seu alto potencial no aproveitamento da atual aceleração da transição energética. Neste contexto destaca-se a tecnologia eólica *offshore*, tida como o próximo ponto de viragem desta transformação e a tecnologia renovável com maior potencial para a produção de hidrogénio verde.

A produção de hidrogénio verde, alimentada por energias renováveis é considerada como requisito fundamental para a transição energética, sendo o uso da energia eólica (por meio da eletrólise da água) um dos métodos mais adequados para a produção do hidrogénio verde (GWEC, 2020; Ayodele & Munda, 2019).

Através do intenso desenvolvimento e amadurecimento da tecnologia eólica *onshore*, a eólica *offshore* passou a ser adotada por governos e instituições internacionais como o próximo ponto de viragem na transição energética. Ainda, dentre as fontes renováveis, a eólica *offshore* representa a tecnologia com o maior potencial para a produção de hidrogénio sustentável (GWEC, 2020).

Na abordagem defensiva, as fraquezas decorrentes dos inconvenientes como a natureza variável e aspetos da imprevisibilidade do recurso eólico – fatores comuns também à tecnologia fotovoltaica – interferem no aproveitamento das oportunidades por originar custos adicionais e levar à necessidade de desafios operacionais para a sua integração na rede elétrica. Além do que, os riscos e impactes ambientais decorrentes da produção de energia eólica podem dificultar o cumprimento das metas políticas específicas para o setor, pois demandam soluções eficazes para minimizar conflitos e perturbações nas comunidades e no meio.

Quando se trata do combate às mudanças climáticas, as tecnologias solar fotovoltaica e eólica são consideradas como as principais aliadas para o caminho da sustentabilidade e conservação de energia. No entanto, do ponto de vista da qualidade de energia, configuram ainda um desafio para os operadores da rede ao programar a produção de energia (Zsiborács et al., 2019). Em virtude da variabilidade e imprevisibilidade associadas a estas fontes, a sua conexão causa custos adicionais de integração na rede elétrica, que aumentam conforme o aumento da taxa de penetração da energia variável renovável (Yao et al., 2020). Quando a participação de eletricidade variável na rede elétrica excede 25%, faz-se necessário um conjunto de medidas de integração mais abrangente (Sales & Uhlig, 2017).

Mesmo sendo considerada uma opção mais ecológica, em comparação com outras fontes não renováveis de energia, a tecnologia eólica ainda executa alguns efeitos sobre a vida humana e o meio ambiente. Sendo assim, os riscos e impactes ambientais configuram um fator dificultador, pois estes devem ser considerados com cuidado pelas autoridades, que devem procurar soluções para as adversidades e implementar políticas para minimizar os conflitos e perturbações no meio e na sociedade (Nazir et al., 2019).

No que se refere à abordagem de desinvestimento, as fraquezas identificadas através dos impactes ambientais e riscos relacionados à energia eólica podem intensificar os desafios impostos

pela ameaça representada pela imprevisibilidade e morosidade dos processos de permissão e autorização de projetos.

Esta interpretação é elaborada sob um contexto de uma oposição aos projetos eólicos, de ativistas ambientais, que acabam por beneficiar da lentidão do processo de licenciamento, tornando esta barreira administrativa ainda mais desafiadora ao ponto de fazer com que as empresas promotoras considerem a não realização destes projetos (Portal Energias Renováveis, 2018).

A abordagem de desinvestimento pretende analisar o potencial das fraquezas em intensificar os impactos gerados pelas ameaças impostas pelo ambiente externo. Neste sentido as principais ameaças referem-se à competitividade entre as demais fontes de energia e, no caso em especial, a tecnologia fotovoltaica. As demais fraquezas identificadas para o setor eólico envolvem sobretudo inconvenientes comuns entre as referidas tecnologias, pelo que o outro elemento explorado nesta abordagem se refere ao desafio imposto pelo comportamento característico turbulento e desordenado do vento urbano, que dificulta o seu aproveitamento na produção de energia a nível residencial e coloca a tecnologia eólica em desvantagem quando comparada à versatilidade da tecnologia solar fotovoltaica, aplicável tanto em residências individuais quanto em centrais de energia à escala de serviço público.

Em áreas urbanizadas, o recurso eólico pode não ser suficiente devido à alta variabilidade da direção do vento causada pelas estruturas e edifícios urbanos. Neste sentido, ainda que o uso de painéis solares para a geração de energia residencial continue em crescimento, a aplicação de turbinas eólicas para este fim é considerada irrelevante. A maioria das centrais eólicas produz energia através da instalação de grandes turbinas de eixo horizontal em áreas rurais ou no mar, onde há muita disponibilidade de vento durante todo o ano (Loganathan et al., 2019).

Na abordagem de segmentação fez-se uma relação entre os atributos identificados para a tecnologia eólica e sob quais aspetos estas forças podem contrapor as dificuldades impostas pelas ameaças eminentes, referidas essencialmente pela concorrência de mercado.

Ainda sob o contexto de viabilidade da produção de energia doméstica, os avanços tecnológicos e o amadurecimento da tecnologia eólica possibilitam a utilização de sistemas híbridos abastecidos por energia solar e eólica para a produção de energia em residências urbanas. Neste sentido, a associação de sistemas fotovoltaicos com a instalação de microturbinas pode configurar uma solução para obter-se maior aproveitamento do recurso eólico em meios urbanos, beneficiando-se do atual domínio da tecnologia fotovoltaica neste ramo.

Tendo em conta um futuro com redes elétricas inteligentes, há indicações de sistemas residenciais híbridos fotovoltaico-eólico para a produção de energia renovável complementar, com o aproveitamento da complementaridade dos recursos, uma vez que os horários de pico de operação da tecnologia solar são durante o dia, enquanto que para o vento é à noite e também numa época diferente do ano (Melhem et al., 2016).

Diante da ameaça de intensificação da concorrência de preços imposta pela adoção de mecanismos mais competitivos, o setor eólico vem enfrentando este desafio por meio de avanços

tecnológicos contínuos incluindo turbinas maiores, que geram maior produção de energia, aumentam a eficiência dos sistemas e reduzem o LCOE (REN21, 2019).

Os preços competitivos da energia eólica configuram robustez para fortalecer esta fonte energética face à competitividade entre a energia solar fotovoltaica e as demais tecnologias concorrentes. Outra vantagem da tecnologia eólica refere-se à sua contribuição na diminuição da pegada carbónica.

As energias eólica e solar são as principais tecnologias adotadas no caminho para a transformação do setor elétrico global (IRENA, 2019a). No final de 2018, a eletricidade gerada a partir de novas centrais eólicas e solares fotovoltaicas tornou-se mais económica do que a energia de centrais movidas a combustíveis fósseis, em diversas localidades (REN21).

Tendo em conta a importância atribuída à avaliação dos impactos ambientais na produção de eletricidade, considerados críticos para a sustentabilidade, uma das principais vantagens conferidas às tecnologias eólica e solar refere-se ao fato de se destacarem entre os menores índices de impacto na sua produção em termos de aquecimento global, em comparação com outras fontes (Barros et al., 2020).

No que se refere a uma comparação direta entre as tecnologias eólica e solar fotovoltaica, segundo IRENA (2019), em termos de custo nivelado de eletricidade para projetos comissionados no ano de 2019, a energia eólica *onshore* apresenta vantagem com um valor global médio de 0,053 USD/kWh, contra o valor médio de 0,068 USD/kWh da energia solar fotovoltaica. Quanto à análise ambiental de ciclo de vida, a fonte eólica também demonstra vantagem, segundo Nugent & Sovacool (2014), a tecnologia eólica apresenta um valor médio de 34 gCO₂-eq/kWh em termos de intensidade de emissões de GEE, resultado inferior ao valor médio de 50 gCO₂-eq/kWh da tecnologia solar fotovoltaica.

A tabela completa da matriz SWOT que analisa os fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica no balanço energético está exposta no Anexo 4. A tabela combina as duas etapas de elaboração da análise e ilustra de maneira ampla a relação e a interpretação dos fatores investigados.

4.2 Análise para o caso português

No desenvolvimento da análise sobre o potencial de evolução da participação da energia eólica na matriz energética portuguesa foi conduzido um conjunto de entrevistas com atores relevantes do setor eólico nacional. O conteúdo foi trabalhado por tópicos, os quais são explorados a seguir:

• Cumprimento das metas políticas no atual contexto

Tendo em conta os objetivos ambiciosos para Portugal, traçados pelo PNEC 2030 e pelo RNC2050 é importante refletir sobre as melhores vias para cumpri-los. Para o setor eólico, está

previsto até 2030 um acréscimo de cerca de 4 GW de capacidade (Simões, Couto, & Estanqueiro 2019).

No início de 2020, as perspetivas para o mercado eólico global indicavam que seria um novo ano recorde de novas instalações, no entanto, o mundo todo, e com ele o setor eólico, foram atingidos pela pandemia da doença COVID-19 (GWEC, 2020).

Diante deste contexto, os entrevistados foram indagados a respeito de sua opinião em relação às metas traçadas para o setor eólico em Portugal, se estas seriam realistas e bem fundamentadas, pouco ou demasiado ambiciosas. Os entrevistados também foram convidados a refletir sobre os impactos provocados pela pandemia da COVID-19 e pela subsequente recessão económica e como estes factos podem afetar no cumprimento destes objetivos.

Um dos entrevistados pronunciou-se a respeito dos objetivos do RNC2050 e mostrou-se bastante otimista em relação à meta de atingir os 100% de eletricidade renovável até 2050:

“Estou convencido de que vamos atingir no ano de 2030 mais de 80% da eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, e acredito que entre 2040 e 2042 vamos atingir aquilo que se pretende em 2050. Há uma série de fatores que estão alinhados para que isso aconteça, há vontade política, há investimentos e a população está conscientizada.” (E01)

Dois entrevistados, citados a seguir, afirmaram que as metas traçadas para o setor eólico em Portugal são bem fundamentadas e realistas:

“Em termos do potencial eólico avaliado nas metas traçadas os valores são realistas e fidedignos, tendo por base o melhor conhecimento da distribuição do recurso eólico em Portugal” (E05)

“As metas são bem fundamentadas e perfeitamente atingíveis. Acredito que na próxima década veremos em Portugal, principalmente, como oportunidade de aumento da capacidade eólica, projetos de repotenciação das centrais existentes, mas também há intensões de se fazer projetos envolvendo a hibridização de fontes renováveis e há interesse na produção de hidrogénio verde.” (E04)

No entanto, um dos entrevistados diverge desta opinião e acredita que as metas que se pretendem cumprir no país para o setor eólico não estão bem fundamentadas:

“Em relação aos números indicados pelas metas acho que não estão bem fundamentados. Julgo que Portugal não desenvolveu análises técnicas e de custo-benefício suficientes para justificar e fundamentar estes números. É preciso análises mais abrangentes e consolidar as informações com outros agentes relevantes.” (E02)

Alguns entrevistados julgam os números indicados pelas metas como ambiciosos e também citaram a repotenciação como estratégia para seu cumprimento:

“Julgo que o acréscimo de 4 GW de potência eólica para 2030 é um objetivo ligeiramente ambicioso. Segundo o Relatório da Monitorização da Segurança de

Abastecimento do Sistema Elétrico Nacional (RMSA-E) este valor não é tão elevado, o que demonstra desde logo que não há coerência e que isto não está consolidado por todas as partes de cada departamento do governo. Para chegarmos a estes números é necessário políticas e regulamentação adequadas, é preciso também se pensar no modo como isso será implementado. Acredito que os números deveriam ser atingidos sobretudo por repotenciação, aumentando a potência das centrais já existentes.” (E02)

“As metas que estão traçadas no PNEC são relativamente ambiciosas, na minha opinião pessoal é que não vamos conseguir cumpri-las apenas em nova capacidade, teremos que considerar *repowering*, sobre-equipamento e um forte investimento no setor. O *repowering* e sobre-equipamento devem ser os principais instrumentos a serem usados para o cumprimento destas metas”. (E03)

“Em relação aos 4 GW de nova potencia eólica até 2030 parece-me uma tarefa difícil de se executar. Portugal levou mais de 20 anos para conseguir chegar aos atuais 5,6 GW e, de repente, em 10 anos quer adicionar mais 4 GW. Para isto acontecer há de haver oportunidade para novas centrais, porque se pensarmos em oportunidades de repotenciação não seria propriamente acrescentar nova potência. Há de haver vontade política para licenciar, porque julgo que houve um certo estigma da eólica nos últimos 4 anos devido à grande redução dos preços da tecnologia fotovoltaica, algo que na eólica não aconteceu com tanta expressividade. Sendo assim, para que um projeto eólico seja apelativo ao ponto de ser desenvolvido, tem de ser mais eficiente a nível financeiro”. (E06)

Pôde-se observar uma forte tendência à aplicação da estratégia da repotenciação no sentido do cumprimento das metas, entretanto o último trecho transcrito no parágrafo acima cita uma visão divergente, pois este ator reforça a necessidade da projeção e instalação de novas centrais eólicas uma vez que a repotenciação não implica essencialmente a adição de nova potência. Este mesmo autor também faz evidência à forte concorrência em termos de preços da tecnologia solar fotovoltaica, que atingiu reduções expressivas nos últimos anos.

Quando indagados a respeito dos possíveis impactes causados pela pandemia da COVID-19 e pela recessão económica, em geral, os entrevistados apresentaram opiniões convergentes e pensam que estes factos poderão levar a um atraso no cumprimento das metas:

“Penso que a crise não afetará os grandes números, acho que vai se criar uma deslocação no tempo em relação às metas e aos objetivos traçados.” (E02)

“Os números são atingíveis independente da crise, esta pode somente levar a um atraso no cumprimento das metas.” (E04)

Apesar de observar as dificuldades envolvidas no surgimento da crise, um dos entrevistados apresentou uma resposta otimista diante das circunstâncias:

“Eventualmente, pode ser que nos próximos anos não se consiga evoluir com tanta expressão, mas acho que se ultrapassa isso mais facilmente no setor das renováveis, do que em outros setores. Não me parece que a crise que estamos a passar vá influenciar fortemente este investimento. Penso que possivelmente poderá até ser uma oportunidade para a criação de mais empregos e de uma renovação no setor, podendo assim ser um aspeto positivo.” (E03)

- **Obstáculos no processo de licenciamento**

Globalmente, os obstáculos críticos à energia eólica incluem longos tempos de espera e imprevisibilidade dos processos de permissão e autorização. Para reduzir estes riscos, legisladores de políticas podem introduzir esquemas regulatórios que simplifiquem os procedimentos e definir um cronograma específico para o processo administrativo (IRENA, 2016).

Relativamente a este tema, os entrevistados foram questionados se no caso de Portugal as dificuldades no processo de licenciamento configuram de facto uma barreira para o crescimento do setor eólico. Foram também exploradas medidas e ações a serem tomadas no intuito de se melhorar e agilizar este procedimento.

De acordo com os trechos citados a seguir, pôde-se observar um consenso geral entre as respostas, onde todos os entrevistados reconheceram a complexidade e morosidade associadas aos processos de licenciamento como obstáculos atuais para o desenvolvimento do setor eólico em Portugal, sobretudo no que se refere à componente ambiental.

“A demora no licenciamento é, de facto, um entrave e é uma dificuldade para a promoção da energia eólica, pois gera um aumento no custo aos promotores, prolonga-se no tempo a incerteza, e a incerteza é prejudicial ao investimento e gera custos adicionais. Há muitas dificuldades administrativas. Por outro lado, é esperada uma ponderação razoável por parte dos promotores no que diz respeito aos impactes ambientais e ao ordenamento do território. É necessário que haja um equilíbrio entre as partes.” (E02)

Foram ainda expostas potenciais soluções na tentativa da melhoria do problema referido, como a criação de uma instituição única para atuar no recebimento e distribuição de dados entre as partes envolvidas, agilizando os processos, ou através da contratação adicional de recursos humanos e de meios de informatização.

“Costumo ter muitas reuniões com empresários do setor e, de fato, a morosidade e complexidade dos procedimentos do licenciamento são sempre apontados como uma grande barreira. É-me transmitido, como preocupação por parte dos *stakeholders*, que a componente ambiental é bastante complicada. Algo que vem sendo proposto mas que ainda não foi possível avançar é a criação do chamado *one stop shop*, alguns promotores acham que isto poderia, de alguma forma, agilizar o processo.” (E03)

"Um mecanismo que há décadas é discutido não só em Portugal, mas em todos os países da EU, é a criação de um balcão único, em inglês *one stop shop*, que seria uma instituição única que receberia as informações abrangentes no que toca às diversas áreas como ambiental, impactes na rede elétrica e todas as associadas ao licenciamento de uma instalação de uma central renovável, e que depois distribuiria para todos os organismos da administração pública estas informações para posterior análise e licenciamento ou pedido de dados suplementares. Algo que poderia facilitar e agilizar os processos de licenciamento em Portugal, que já foi reclamado por todos os intervenientes, porém nunca foi criado." (E05)

"A complexidade e o longo prazo envolvido nos processos de licenciamento em Portugal são sim uma barreira. Alguns exemplos de como mitigar este problema envolvem o reforço do quadro de recursos humanos e dos meios de informatização nos setores relacionados." (E04)

• Fim de vida útil dos aerogeradores em uso

Atualmente, cerca de 19% das centrais eólicas de Portugal estão a aproximar-se do fim da sua vida útil. Caso não haja investimentos de reaproveitamento, o setor irá diminuir drasticamente nos próximos anos (IEP, 2019). Tendo em vista uma tendência favorável à produção de energia renovável e ao alto índice de eolicidade do país, a extensão de vida útil dos aerogeradores e a repotenciação são apontadas como soluções possíveis para a continuidade de operação da frota existente e para se aumentar a produção de eletricidade e reduzir os custos (IEP, 2019; Governo de Portugal, 2019).

Diante do exposto os entrevistados foram questionados a respeito do panorama atual no que se refere à situação da proximidade do fim de vida útil dos aerogeradores de diversas centrais eólicas portuguesas e das ações a serem empregues para possibilitar as condições necessárias à viabilização da repotenciação, tida como uma das principais estratégias do PNEC para reforçar o potencial do setor eólico no país.

Foi apontado por um dos entrevistados a importância de se investir-se em equipamentos mais modernos para manter a competitividade económica quando se trata de um serviço de venda de eletricidade, isto porque mesmo os aerogeradores sendo capazes de manterem o desempenho após o período indicado de vida útil, este prolongamento acaba por aumentar substancialmente os custos de manutenção.

"Atuei na gestão de uma empresa onde os aerogeradores eram substituídos ao fim de 12 a 15 anos e não de 20 ou 25 anos, como acreditam que seja a vida útil destas máquinas. Quando se trata de um negócio de venda de eletricidade é importante ter capacidade de competição de preço e nesses casos o fim de vida não é ditado por condições técnicas e sim por condições económicas. Há uma altura em que se percebe que é preciso fazer um novo investimento para se continuar a ser competitivo. À medida que a tecnologia evolui, são produzidas novas turbinas mais eficientes e os aerogeradores antigos tornam-se obsoletos e não competitivos. No

entanto, a maior parte dos investidores de Portugal não pensam assim e acabam por optar pela extensão da vida útil, afinal, quando os aerogeradores chegam ao final deste período não deixam de trabalhar, mas os custos de manutenção aumentam muito.” (E01)

O entrevistado citado a seguir destacou a urgência da adoção da repotenciação para evitar perdas de ativos na frota do país e destacou o crescente interesse associado à intenção de projetos neste sentido.

“O principal enfoque estratégico para o setor está na repotenciação. Há cada vez mais projetos, há intensões e há cada vez mais interesse. É muito importante a adoção por parte dos promotores, pois não podemos perder ativos da nossa frota e não poderá haver onerosidade.” (E04)

O interesse nacional pela repotenciação das centrais eólicas foi também evidenciado pelo entrevistado citado a seguir, no entanto foram assinaladas algumas questões a serem mais bem estruturadas para a sua viabilização, como a falta de definição dos procedimentos envolvidos na componente regulatória de aprovação dos projetos, no funcionamento tarifário e nos impactes que a produção adicional poderá gerar na qualidade e distribuição de energia. Ainda assim, acredita-se que haverá cada vez mais projetos e que à medida que a adesão aumente, o processo será facilitado.

“Há muito interesse em se avançar com força no *repowering*. Porém, há ainda algum caminho a ser percorrido, precisamente na componente regulatória. Não está bem definido, em termos ambientais, quais são os procedimentos no processo de *repowering*. É necessário um novo licenciamento ambiental como se fosse um novo parque eólico, criando de certa forma algumas barreiras para o avanço do processo. Também há a questão da tarifa, que ainda não está esclarecida como vai funcionar. Há, portanto, uma zona cinzenta que precisa ser muito bem definida. Por outro lado, com o *repowering*, a rede elétrica vai receber mais energia e, portanto, há que haver uma avaliação dos impactos que essa produção adicional vai gerar na qualidade da energia que será distribuída. Apesar das questões a serem mais bem estruturadas, não há um impeditivo total do seu avanço, na verdade já há alguns promotores que estão a fazê-lo. Estou convicta de que, no médio prazo, haverá mais *repowering* em Portugal e acho que o procedimento se tornará mais claro assim que houver maior adesão, o que poderá facilitar o processo.” (E03)

A questão da falta de regulamentação adequada ao procedimento de legalização da repotenciação foi reiterada por este entrevistado que destacou a necessidade de ações neste sentido para que seja possível arrancar com esta estratégia e procurar o cumprimento das metas traçadas para o setor. Acredita-se que, devido estas dificuldades impostas à repotenciação, o prolongamento da vida útil por substituição de componentes seja a possibilidade mais empregue no país.

“Houve alguns estudos feitos do potencial de repotenciação das nossas centrais eólicas, porém não conheço legislação que o permita e, pelo contrário, a

legislação até em termos comunitários, criada mais recentemente, em lugar de facilitar a repotenciação, dificulta. Caso não seja revista a regulamentação e a legislação do setor, vejo com grande dificuldade o início da repotenciação das nossas centrais eólicas.

Uma outra possibilidade, que penso que vai ser muito usada em Portugal, até mesmo devido as dificuldades assumidas pela repotenciação, é a extensão da vida útil. É uma espécie de manutenção profunda dos equipamentos, que não é desejável em termos técnicos, porque são equipamentos que continuam a funcionar com tecnologias envelhecidas e que não permitem um controlo tão fino e um apoio ao sistema elétrico tão eficaz, quanto seria permitido por novas e modernas tecnologias. Penso que a não revisão da legislação que regula a repotenciação é uma falha grande de contextualização das medidas para atingir as metas traçadas para o país e deveria ser revista o mais rápido possível.” (E05)

Foi identificado por este entrevistado outro possível empecilho a uma maior adesão da repotenciação, referente ao conforto oferecido às entidades promotoras pela garantia da tarifa fixa aplicável ainda a parte significativa das centrais em operação e pelas referências de empreendimentos em funcionamento sob condições de prolongamento da vida útil dos aerogeradores que apresentam índices satisfatórios de produtividade.

“Um dos entraves para não haver maior adesão à estratégia da repotenciação em Portugal é o facto da existência das tarifas *feed-in*. Uma parte significativa das centrais eólicas vai continuar com tarifa fixa até 2032. O fato de estes promotores terem a garantia de uma tarifa fixa, faz com que eles queiram manter-se nesta mesma situação de conforto e por isso acabam por optar pela extensão da vida útil. Há boas experiências de parques eólicos em funcionamento com bons índices de produtividade por mais de 25 anos, sendo assim penso que a tendência para Portugal é a extensão da vida útil.” (E02)

Em relação à extensão de vida útil dos aerogeradores, foi mencionada a necessidade de uma análise financeira detalhada, que depende de aspetos como a tecnologia do modelo da turbina, para avaliar a viabilidade do investimento, que em alguns casos pode não ser economicamente interessante.

“Em relação à extensão de vida útil, em termos de manutenção, começa a tornar-se oneroso o prolongamento da vida da turbina no tempo. Depende muito da tecnologia, tem que se fazer um estudo do modelo da turbina para decidir se vale a pena o investimento neste sentido.” (E03)

“A extensão de vida útil é uma questão a ser analisada em detalhe a nível financeiro. Dependendo do valor do investimento pode não ser uma opção interessante. Já em relação ao *repowering* é uma opção bastante interessante e considerada há alguns anos em Portugal, no entanto, o problema é que embora estes

projetos tenham sido estudados profundamente é bastante difícil conseguirem aprovação ou licenciamento. Portanto, em Portugal a extensão de vida útil é a opção que ocorre com maior frequência, sendo o problema em relação ao repotenciamento, a obtenção da aprovação do licenciamento.” (E06)

A análise do conteúdo dos trechos acima permite identificar dois aspetos importantes no cenário cuja exploração é um dos principais objetivos desta dissertação:

- i. Observou-se em Portugal uma maior tendência para a adoção da extensão de vida útil dos aerogeradores, mesmo tratando-se de uma solução indesejada do ponto de vista técnico (por se tratar de tecnologias ultrapassadas e incapazes de gerar um apoio tão eficaz ao sistema elétrico). Uma das possíveis justificações passa pela comodidade proporcionada em manterem-se as centrais eólicas em operação sob as circunstâncias atuais, uma vez que muitas delas ainda usufruem do benefício da tarifa fixa;
- ii. Embora haja grande interesse e intenção de projetos de repotenciação das centrais eólicas mais antigas do país, sua aplicabilidade parece encontrar obstáculos na obtenção do licenciamento e na ausência de clareza da estruturação regulatória do processo, o que poderá dificultar o atingir das metas traçadas para o setor, caso não sejam revistos os procedimentos envolvidos.

• Controle e mitigação dos impactes ambientais

Em geral, a energia eólica é considerada uma opção mais ecológica em comparação com outras fontes não renováveis de energia, no entanto, ela ainda executa alguns efeitos sobre a vida humana e o meio ambiente, incluindo o alto nível de ruído, impactes na fauna e flora e efeitos visuais na paisagem. Sendo assim, os riscos e os impactes ambientais configuram um fator dificultador, pois devem ser considerados com cuidado pelas autoridades, que precisam assegurar soluções para as adversidades e implementar políticas para minimizar conflitos e perturbações (Nazir et al., 2019).

Neste sentido, os entrevistados foram convocados a partilhar a sua opinião a respeito de como os impactes ambientais causados pelas centrais eólicas estão a ser identificados e considerados pelas autoridades do país, e se podem configurar algum tipo de empecilho para a evolução do setor eólico.

De uma maneira geral, os entrevistados estão de acordo quanto à adoção de uma postura adequada pelo país, que se mostrou desde sempre exigente na identificação e no tratamento dos impactes ambientais causados pelas centrais eólicas, ainda que na fase de expansão do setor alguns pequenos projetos possam ter sido investigados de forma mais superficial e provocaram, em alguns casos, constrangimentos reclamados pela população devido aos efeitos produzidos em termos de poluição sonora ou visual, o que não foi observado nos projetos das grandes centrais eólicas.

“Quando foram instaladas as primeiras torres eólicas em Portugal, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) foi muito cautelosa. Por tratar-se de algo novo, exigiu

a investigação de todos os possíveis impactes ambientais e assim foram feitos muitos estudos por todo o país. Não vejo como um obstáculo, pois os impactes relacionados à produção de energia eólica já foram identificados e estudados com atenção, estão controlados e há conhecimento e experiência por parte dos promotores de justiça e da APA.” (E01)

“Parece-me que os estudos dos impactes ambientais da energia eólica de ruídos e impactes na fauna e flora estão a ser bem trabalhados. As equipas que fazem estes estudos dispõem de meios e modelos que julgo serem adequados. Portanto, nós como cidadãos podemos estar descansados pois os impactes estão a ser considerados a sério. O que vejo como uma falha em Portugal são as regras para o licenciamento. Há parques eólicos que não foram submetidos a um estudo de impacte ambiental, por serem pequenos ou por estarem inseridos em zonas não classificadas, sobretudo na fase de expansão e investimentos da eólica em Portugal. Portanto, estas centrais foram feitas sem passarem pelo crivo do impacte ambiental ou simplesmente foram feitas com uma abordagem de investigação muito ligeira. Isto causou alguns problemas ambientais, fundamentalmente de ruídos. No entanto, para os grandes projetos e aqueles inseridos em zonas classificadas ou sensíveis, acredito que as metodologias e estudos foram bem aplicados e avaliados.” (E02)

Foi sublinhado o alto nível de exigência das autoridades em termos de conservação ambiental, que inclusive acabaram por aumentar os custos de instalação das centrais eólicas estabelecidas no início do desenvolvimento do setor no país.

“Esta foi uma questão sempre muito bem tratada em Portugal, até porque é um dos países europeus com autoridades das mais exigentes do ponto de vista ambiental, aliás, foram tão exigentes que acabaram por encarecer os custos de instalação da primeira vaga do desenvolvimento eólico em Portugal. Houve sempre muito cuidado em se manter os ecossistemas como existiam, gerando apenas o mínimo de impacte. A minimização e mitigação dos impactes foram desenvolvidas com muito cuidado e sempre tiveram continuidade. Em relação à produção de ruído, as turbinas eólicas mais modernas geram muito menos ruído, quanto mais moderna menos ruído se gera, mais uma razão pela qual devemos incentivar a instalação de turbinas mais modernas.” (E05)

Segundo os entrevistados, um dos principais problemas está relacionado, sobretudo, à produção de ruído, algo que poderia ser remediado pela instalação de turbinas mais modernas e mais silenciosas.

“Acho que o procedimento de obtenção da licença já obriga os promotores dos parques eólicos a fazer um levantamento de uma serie de avaliações em todas as fases de vida do projeto. Penso que todas as etapas estão muito bem identificadas neste sentido. O processo é muito rigoroso e não tenho conhecimento de problemas relativos a impactes que não tenham sido solucionados. O plano de mitigação é

extremamente rigoroso. Os principais problemas são relacionados ao alto nível de ruídos, cuja mitigação é permitida pelo avanço tecnológico uma vez que as pás já não fazem tanto barulho.” (E03)

Apesar do reconhecimento da rigorosidade do processo de obtenção do licenciamento ambiental, os constrangimentos gerados pela exposição da população aos impactes sonoros e visuais causados pela operação das centrais eólicas foi reconhecido por um dos entrevistados como uma dificuldade a ser atendida.

“Os projetos, dependendo da sua dimensão e localização, são sujeitos a uma avaliação ambiental que determina se este projeto tem ou não implicações negativas sobre o meio ambiente. À medida que os projetos vão avançando no país, a própria população exposta aos impactes visuais e sonoros começa a reclamar pelo incómodo gerado pela instalação das centrais eólicas. Estes constrangimentos envolvem uma questão que leva muitos meses a ser resolvida, e muitas vezes os promotores acabam por desistir dos projetos pois fartam-se de ser acusados por estar a querer destruir algo. Portanto, sim, são constrangimentos, situações que devem ser resolvidas caso a caso e somente a avaliação ambiental não resolve todos estes problemas. À medida que vamos assistindo a mais projetos, a área disponível é cada vez menor e há cada vez mais concorrência. Assistimos a promotores a querer ir um pouco além daquilo que é permitido e nesses casos há que intervir.” (E04)

Além da discussão sobre os impactos negativos, um dos entrevistados identificou as instalações de centrais eólicas como um ativo positivo no que se refere ao combate de incêndios nos casos em que é possibilitado por estas instalações o acesso aos bombeiros no combate do fogo.

“Em Portugal, particularmente, há um impacto positivo gerado pela operação de aerogeradores nas serras ou em zonas que sofrem com os incêndios. Temos no país épocas extensas de incêndios e um dos maiores entraves que temos na extinção do fogo são os próprios acessos para os bombeiros chegarem até os pontos de incêndio. Neste caso, os próprios parques eólicos atuam como um corta-fogo e servem também como auxílio de acesso para que os bombeiros cheguem mais depressa a certos locais. Portanto, neste caso, os parques eólicos em si, no controle de incêndios, configuram um ativo positivo.” (E06)

• **Desafios da integração de energia variável na rede elétrica**

Devido à variabilidade e imprevisibilidade do recurso eólico, a sua conexão à rede causa custos adicionais de integração para os sistemas de energia e consumidores (Yao et al., 2020). A integração da energia eólica pode afetar a qualidade da estabilidade e a confiabilidade da rede de serviço público e geralmente exigem soluções de apoio através de recursos despacháveis ou dispositivos de armazenamento de energia (Al-Shetwi et al., 2020). Do ponto de vista da qualidade da energia, a produção distribuída representa um desafio para os operadores da rede ao programar a produção e distribuição de energia (Zsiborács et al., 2019)

No que toca ao tema relacionado neste tópico, os atores entrevistados foram questionados sobre o modo como vem sendo enfrentado o desafio da interconexão de energia renovável variável, no caso, a componente eólica, de modo a minimizar os custos e as perturbações na estabilidade da rede elétrica nacional.

O entrevistado citado a seguir referiu-se aos desafios de integração de ERV como uma dificuldade ultrapassada, graças aos avanços conquistados nas áreas de tecnologia dos materiais e da informação.

“Os desafios de integração de energia variável na rede elétrica, como é o caso da energia eólica, são considerados ultrapassados atualmente. O grande desafio hoje em dia é a previsão da produção. A grande evolução que houve no setor das energias renováveis foram principalmente duas: a primeira no âmbito da tecnologia dos materiais, que no caso das eólicas permite fazer as pás com maiores dimensões e flexibilidade, e em segundo a evolução que houve nas tecnologias de informação na gestão e controlo das redes elétricas. Sem estes dois fatores, não poderíamos ter a penetração de renováveis tão grande como temos atualmente. Ainda assim, se apresentam dificuldades, estas são controláveis e manejáveis e deixaram de ser um obstáculo intransponível.” (E01)

O depoimento deste outro entrevistado reconhece os diferentes níveis do desafio imposto pela natureza variável da fonte eólica, tanto ao nível do planeamento estrutural das redes de transmissão quanto ao nível operacional de gestão da rede elétrica, e ainda a questão da segurança de abastecimento energético, sendo os dois primeiros já remediados pela evolução tecnológica e o último ainda não é considerado com devida atenção.

“Este é um desafio de vários níveis. Primeiro, o desafio ao nível do planeamento que envolve as estruturas físicas da rede de transmissão, que são infraestruturas projetadas para durarem por muitos anos e por isso o planeamento é feito com muita antecedência e envolve perspetivas de longo prazo, considerando diversos cenários para a evolução da penetração de energia renovável. Segundo, o desafio operacional da gestão da rede elétrica, trata-se de um desafio existente, mas que vem sendo vencido pois sempre se tem conseguido arranjar meios para tal, através da evolução tecnológica. O que não quer dizer que não se deva continuar a tentar melhorar e prever possíveis problemas para que sejam prevenidos. E em terceiro, a questão da segurança energética que envolve fontes de contrapartida de segurança. Este último trata-se de um grande desafio que ainda não está sob os holofotes.” (E02)

Segundo este entrevistado, as dificuldades impostas pela variabilidade associada à produção de energia eólica foram ultrapassadas devido à criação de meios que possibilitam a gestão e o controle da produção quando considerados níveis não tão elevados de penetração. No entanto, em períodos de larga escala, a tecnologia eólica não oferece garantia de potência, sendo necessário o uso de mecanismos de gestão como a mobilização de centrais convencionais com flexibilidade de

produção ou o uso de sistemas adicionais de armazenamento de energia. Há ainda uma questão técnica específica não solucionada, quando são atingidos níveis muito elevados de participação de centrais de ERV, o que impõe ainda maior dificuldade na operação da rede elétrica.

“A integração de produção de energia eólica no sistema eletroprodutor, quando em pequenas quantidades, não é difícil. Porém, em Portugal, a penetração de energia eólica é bastante elevada, cerca de 25% da energia anual consumida no país tem origem em centrais eólicas. Há três ordens de razões pelas quais isto constitui um desafio. Primeiro pela variabilidade associada à produção de energia eólica, mas este é um problema ultrapassado pois é possível gerir e regular esta questão, já dispomos de meios para tal. A segunda questão tem a ver com o facto de que para períodos de larga escala a tecnologia eólica não oferece garantia de potência, ou seja, garantir que em certa hora, de um certo dia, uma determinada central produzirá uma tal potência determinada. O que nos obriga a recorrer a mecanismos de gestão do sistema elétrico como por exemplo acionar centrais convencionais com flexibilidade de geração ou optar pela capacidade de armazenamento adicional. E uma terceira ordem de dificuldade, que só ocorre quando há alta penetração da energia renovável variável, trata-se da diminuição da inércia do sistema, uma questão puramente de estabilidade do sistema e que não está resolvida em nenhuma parte do mundo. Este é o maior desafio. A partir de 80% de participação de centrais de energia renovável variável interligadas na rede através de ligação não síncrona cria-se uma maior dificuldade de operação e de manutenção de frequências adicionais. Quanto maior é a componente renovável variável no tempo, mais difícil é fazer a gestão do sistema elétrico.” (E05)

O reconhecimento de Portugal como uma referência do sucesso na gestão da rede elétrica com alta participação de fontes renováveis de energia foi mencionado por este entrevistado, que identifica o portfólio de centrais hídricas e a complementaridade dos sistemas eólico e hídrico como umas das razões pelas quais se faz possível a gestão desta variabilidade na produção de energia.

“Eu diria que Portugal é um caso de sucesso na Europa e no mundo, no que toca à gestão da rede elétrica com alta penetração de renováveis, com reconhecimento internacional. Que eu tenha conhecimento, nunca houve em Portugal registos de grandes perturbações, e isto vê-se nos indicadores de qualidade dos serviços da REN. Um dos motivos para isto é o bom portfólio de centrais hídricas, muitas delas reversíveis, conseguindo assim facilitar a gestão integrada. Através da complementaridade das tecnologias eólica e hídrica, consegue-se gerir esta variabilidade na produção. Temos bastante *know-how* nesta área e constante investimento nas redes para que elas estejam capazes e atualizadas. A REN está a desenvolver um trabalho de reforço dos grandes corredores de linhas de muito alta tensão para reforçar esta espinha dorsal da rede e garantir o escoamento da energia a ser distribuída.” (E04)

Foram mencionadas complicações relativas à previsibilidade do recurso, à saturação da rede elétrica nacional e à necessidade de ferramentas para promover um maior controlo da produção, como o uso de dispositivos de armazenamento, diante das perspetivas de aumento da penetração de energia renovável variável.

“Temos que atuar na variabilidade associada à produção das centrais eólicas e isto tem grandes implicações na gestão da operação da rede elétrica. A previsão do recurso eólico é bastante complicada, por isso é muito importante tornar estas centrais que hoje em dia são consideradas com energia bastante variável e dar-lhes algumas ferramentas de forma a serem mais despacháveis ou mais constantes. Uma delas, naturalmente, são as baterias, porém, claro, que envolve altos custos. Com o aumento da capacidade eólica instalada em Portugal será exigido cada vez mais às centrais que tenham alguma forma de armazenamento ou alguma forma de tornar a produção menos variável. Além do desafio da variabilidade, há a saturação da rede elétrica; neste momento temos uma rede elétrica extremamente saturada para o recebimento de nova potência.” (E06)

Segundo as respostas obtidas, apesar de adicionais adversidades, como a dificuldade na previsão da produção, a questão da segurança energética, a falta de garantia de potência a longo prazo e a saturação da rede elétrica portuguesa, graças à importante evolução na tecnologia da informação e dos materiais, foi possível proporcionar meios para superar o desafio da variabilidade na produção de energia renovável e facilitar a gestão de operação da rede.

Como foi referido por alguns dos entrevistados, Portugal é notável pela sua penetração de energia eólica na matriz energética e apresenta bons indicadores de qualidade de serviço da rede energética nacional, sendo assim reconhecido como um caso de sucesso.

- **Perspetivas de projetos híbridos envolvendo outras fontes renováveis e a produção de hidrogénio verde**

Soluções híbridas, no caso a combinação da tecnologia eólica com outra fonte de energia ou solução de armazenamento, são cada vez mais aplicadas em mercados maduros e emergentes para apoiar a integração da energia renovável variável. Para acelerar a transição energética global, os principais agentes interessados na indústria eólica têm participado nas iniciativas para acelerar a colaboração da indústria de setores como o hidrogénio. Neste contexto, a hibridização e o hidrogénio verde são apontados como ferramentas importantes para gerar novas oportunidades para o setor eólico (GWEC, 2020).

Em Portugal, o Plano Nacional do Hidrogénio tem como âncora o Projeto Industrial de Hidrogénio Verde, em Sines, com o foco de alavancar a energia solar e a energia eólica através do aproveitamento da localização estratégica e estrutura de Sines.

No que se refere a este tema, os entrevistados foram questionados sobre a existência de incentivos e sobre as perspectivas de outros projetos eólicos de grande porte envolvendo a hibridização de fontes renováveis ou a produção de hidrogénio verde em Portugal.

Conforme é possível observar nos trechos transcritos a seguir, a respeito dos projetos híbridos, combinando a energia eólica com outras fontes de energia, os entrevistados destacaram as vantagens de se aproveitar as estruturas existentes dos pontos de ligação à rede elétrica e os terrenos das centrais, que permitem a redução de custos com interligações, evitando adicionais impactes ambientais. Os entrevistados também evidenciaram o grande interesse existente na promoção de projetos com sistemas híbridos eólico-solar, sendo inclusive uma questão amplamente apoiada e trabalhada pela equipa de trabalho do PNEC. Neste sentido, a maior parte dos entrevistados veem como promissor o desenvolvimento destes projetos nos próximos anos pelo país.

“Já vemos e vamos ver cada vez mais projetos híbridos em Portugal, sejam projetos onde já existe um parque eólico e é implementado um parque fotovoltaico ou também o contrário. São normalmente estas duas tecnologias que são mais hibridizadas, podendo ainda incluir a opção de armazenamento para manter o sistema o mais constante possível, tornando a central mais versátil. Além disto, outra vantagem é o aproveitamento do ponto de ligação à rede elétrica, reduzindo custos de ligação. Portanto as centrais híbridas estão a ser consideradas em Portugal.” (E06)

“Em Portugal fala-se muito na instalação de painéis solares nas centrais eólicas existentes e também o contrário, de modo a aproveitar o ponto de ligação com a rede elétrica. As ligações à rede elétrica configuram um bem escasso e portanto há que se buscar a vantagem envolvida no aproveitamento dos pontos de ligação quando centrais eólicas e solares são combinadas. Intenções há muitas e há projetos em avaliação que estão sendo desenvolvidos para promover projetos híbridos também da energia hídrica com centrais eólicas. São ideias interessantes de se aproveitar a complementaridade destas tecnologias e o bem escasso que é a rede elétrica.” (E02)

“A hibridização também foi uma das medidas que foram propostas na altura do PNEC e foi muito discutida no grupo de trabalho, com o objetivo de se conseguir aumentar a produção de energia renovável aproveitando os pontos de ligação à rede e os terrenos onde já existem centrais. Penso que são só vantagens, aumentamos a nossa produção, aumentamos a nossa capacidade renovável instalada, cumprimos nossos objetivos e há a questão da complementaridade dos recursos, são fontes que se complementam e atuam na continuidade da produção de energia renovável.” (E03)

“Veremos em Portugal, nos próximos anos, pequenos projetos híbridos de eólica, solar e armazenamento. Sabemos de alguns promotores que querem implementar pequenos projetos-pilotos para se começar a testar o armazenamento em centros eletroprodutores já existentes” (E04)

Ainda sobre as perspetivas para o país, em termos de projetos híbridos, combinando a tecnologia eólica com outras fontes renováveis de energia, dois dos entrevistados demonstraram um posicionamento divergente e não tão otimista, apesar de também reconhecerem o potencial e as vantagens da aplicação destes sistemas.

Um dos atores identificou um possível obstáculo relacionado à maior disponibilidade dos recursos eólico e solar em regiões distintas do país, e mesmo acreditando que a evolução da tecnologia possa atuar neste sentido, que estes projetos são de facto interessantes e que poderiam ter uma parcela de participação no cumprimento das metas traçadas, não considera esta abordagem como uma solução de contribuição muito expressiva:

“A combinação das tecnologias hídrica, eólica e solar é extremamente interessante e muito complementar. O uso de um mesmo ponto de ligação à rede envolvido nesta agregação concede uma grande vantagem. No entanto, vejo no caso de Portugal, um possível entrave para sua aplicação: as nossas centrais eólicas estão maioritariamente à norte do rio Tejo, onde há mais vento, porém, onde há menos sol, enquanto a sul do Tejo, temos condições interessantes para centrais fotovoltaicas e não tão propícias para centrais eólicas. Porém com a evolução da tecnologia estão a ser fabricadas pás maiores, capazes de funcionar com menos vento e assim já começam a ser viáveis mesmo em zonas onde não há condições tão ideais do recurso, contrariando então este raciocínio. Acho que se devem criar condições para a realização de projetos de hibridização de eólica com solar, acho que pode ajudar na contribuição para o atingimento das metas, mas não vejo como uma solução máxima do problema.” (E01)

Já este outro entrevistado, apesar de apoiar e reconhecer o potencial e as vantagens do desenvolvimento de projetos híbridos no fomento do setor eólico nacional, mostrou uma visão não tão otimista acerca de sua aplicabilidade diante das perspetivas atuais, sobretudo devido à ausência de abertura de novos leilões para capacidade eólica no país e aos altos custos de investimento envolvidos na instalação dos sistemas de armazenamento. No entanto, acredita-se que haverá maior adesão por parte dos promotores das centrais eólicas uma vez que sejam proporcionadas melhores condições financeiras.

“Em termos de aplicabilidade, do que tenho conhecimento, não há novos concursos para atribuição de capacidade eólica em Portugal. Penso que não se estão a fazer grandes aplicações diretas neste sentido. Porém tem um enorme potencial, a hibridização da eólica com a fotovoltaica é excelente, aumenta muito o valor da energia do ponto de vista de mercado e do ponto de vista de valor para o operador do sistema e também para o dono da central. No entanto, na instalação de sistemas de armazenamento em baterias quase nunca se recupera o investimento, talvez por isso não tenha havido grande movimento neste setor. Mas acredito que esta é uma área em que deveríamos mais apostar, para fazer o aproveitamento das infraestruturas elétricas e dos terrenos já explorados, evitando adicionais impactes ambientais.

Penso que os promotores apostarão nesta alternativa quando houver condições económicas para tal.” (E05)

Em relação ao panorama atual e às expectativas do desenvolvimento de projetos de produção de hidrogénio verde em Portugal, de maneira geral, os entrevistados mencionaram as intenções do governo português, que dispõe de muito interesse e incentivo estratégico na implementação destes projetos. Também julgaram como assertivo o posicionamento adotado pelo país ao lançar-se desde o início nos planos europeus para o hidrogénio, proporcionando incentivos e promovendo desenvolvimento no setor, aumentando as hipóteses de acelerar o processo. Foi, inclusive, mencionado por um dos entrevistados o planeamento e a promessa de projetos pelo país e a idealização de um *hub* do hidrogénio em Sines.

Dois dos entrevistados, cujos trechos das respostas encontram-se expostos abaixo, reconheceram, em especial, o potencial da produção de hidrogénio verde como uma oportunidade de desenvolvimento para o setor eólico em Portugal, através do aproveitamento do excedente da produção de energia eólica, que por muitas vezes precisa ser freada na gestão de operação da rede elétrica.

“A questão do hidrogénio verde é muito acarinhada pelo nosso governo e pelo setor das renováveis no geral, portanto penso que pode ajudar a promover o setor eólico no país. Fala-se muito no aproveitamento do excedente da energia eólica em especial, já que muitas vezes é necessário frear a produção para tornar a rede mais equilibrada. Este excesso, então, poderia ser perfeitamente utilizado para alimentar eletrolisadores na produção do hidrogénio verde.” (E03)

“É uma oportunidade de crescimento para o setor em Portugal. Conseguimos estar na frente nesta questão, o que indica que mais cedo estaremos em condições de implementar estes projetos, e sermos reconhecidos por outros países como exemplo de capacidade e *know-how*, não só a nível de projetos e recursos humanos mas também a nível industrial. O projeto de Sines é um dos projetos, mas temos outros, inclusive um grande projeto no norte do país com uma indústria química que permitirá que Portugal seja exportador de amónia verde. Em Sines teremos vários projetos, todos eles naquilo que chamaremos de *hub* do hidrogénio em Sines, uma zona que apresenta condições privilegiadas e ideais para se ter uma série de projetos de pequeno e grande porte, alguns deles com o uso de tecnologia nacional, o que é muito importante para promover o país na exportação de tecnologias. E teremos projetos pelo país inteiro, projetos associados ao transporte, à indústria, ao armazenamento em parques existentes, etc. Portanto, de facto o hidrogénio é mesmo uma oportunidade, há estratégia e investimento neste sentido. No entanto ainda há muito o que caminhar, todos os constrangimentos abordados nesta entrevista, em relação aos desafios na interligação das redes por exemplo, terá de ser ultrapassado e com relação ao hidrogénio também.” (E04)

Apesar do otimismo observado de uma forma geral, dois dos entrevistados atentaram para o fato de esta ser uma aplicação complexa e muito recente, uma tecnologia que ainda carece de estudos, desenvolvimento tecnológico e redução de custos.

“Parte da produção de hidrogénio verde tem alta complexidade. De todas as formas de se produzir hidrogénio, o hidrogénio verde – ou seja associado à produção de energia renovável – é das mais caras. Portanto, só faz sentido quando temos um mercado em que a energia renovável apresenta preços muito competitivos, o que é o caso de Portugal. Associar uma central eólica ou fotovoltaica ao processo de produção de hidrogénio é imensamente interessante ao nível de caso de estudo, por se tratar de algo ainda muito recente, em nível embrionário. Projetos instalados em grande escala representam um número muito residual. É algo a estudar, que parece ter potencial e que tem muito interesse envolvido.” (E06)

“Acho que a questão do hidrogénio está no início, ainda é um campo de especulação. O preço da energia solar em Portugal está muito baixo, por isso pensaram ser possível e viável a produção de hidrogénio verde e, assim sendo, apostaram neste projeto de Sines. Mas, pessoalmente, vejo algumas dificuldades na concretização destes projetos. Os projetos existentes são ainda projetos-pilotos e o preço dos eletrolisadores enquanto não estiverem em grande escala, serão muito elevados. Portugal não detém investigação na área, não domina a tecnologia e não é um país industrial, portanto há que se importar tudo e assim não se cria uma cadeia de valor e não há valor acrescentado. Fará mais sentido produzir hidrogénio na escala adequada para indústrias dedicadas, que consomem este próprio hidrogénio. Deste modo, vejo algo que possa fazer sentido somente daqui a 15 anos, mas acho que Portugal fez bem em marcar uma posição nos planos europeus, pois isso obriga-nos a mantermo-nos informados no assunto e incentiva o desenvolvimento.” (E02)

• **Potencial de exploração da energia eólica *offshore***

O interesse na exploração de energia eólica *offshore* está a aumentar significativamente em todo o mundo. Dentre os motivos estão a elevada necessidade energética, o desenvolvimento global das fontes renováveis e o facto de o vento *offshore* alcançar uma velocidade maior e mais constante em relação ao vento *onshore*, possibilitando maior produção de energia. (Díaz & Guedes Soares, 2020).

Portugal, apesar do seu destaque pela capacidade de energia eólica *onshore* instalada e por dispor de uma vasta zona costeira com enorme potencial, tem apenas um único projeto *offshore*. Uma das razões é a particularidade geográfica do oceano Atlântico que se torna muito profundo muito próximo à costa e a altura das ondas que são geralmente o dobro em comparação as do Mar do Norte, onde a tecnologia eólica *offshore* já é amplamente reconhecida e desenvolvida (The European Wind Energy Association, 2011). O projeto WindFloat Atlantic, localizado ao largo de Viana do

Castelo, desenvolveu uma tecnologia inovadora com a adoção de plataformas flutuantes para permitir a exploração do potencial eólico nestas condições (EDP, 2019).

Neste contexto, os entrevistados foram questionados relativamente ao caso de Portugal, se a tecnologia eólica *offshore* é competitiva em relação às tradicionais turbinas *onshore* e quais seriam as vantagens e desvantagens envolvidas. Os atores também foram questionados sobre a existência de novos projetos ou planos para exploração da energia eólica *offshore* no país.

As respostas obtidas foram coerentes entre si. Os entrevistados mencionaram o potencial e as vantagens existentes no desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore*. No entanto, devido às particularidades da costa portuguesa e à disponibilidade de espaço em terra ainda por explorar, os custos associados à produção *offshore* são expressivamente mais elevados em comparação a tecnologia *onshore*, justificando assim a existência de um único projeto no país. Ainda assim, devido as vantagens referidas e ao potencial reconhecido, a eólica *offshore* foi considerada uma tecnologia importante, que deve ser explorada e que provavelmente apresentará desenvolvimento futuro no país.

“A exploração *offshore* tem como vantagem a possibilidade de instalação de turbinas maiores e com maior potência, porém a manutenção envolve custos substancialmente mais elevados, primeiro por se tratar de um ambiente marítimo mais agreste e mais duro, e segundo a questão do aerogerador estar num local isolado, de difícil alcance e sem possibilidade de acesso em qualquer momento que se faça necessário. A disponibilidade de um aerogerador em terra é significativamente superior ao de uma máquina no mar, e o tempo de vida útil de uma máquina no mar é inferior ao de uma máquina em terra. Conjugando tudo isto, em Portugal o preço da tecnologia *offshore* ainda é bastante mais elevado em comparação a eólica *onshore*, porém ainda assim é importante termos capacidade eólica *offshore*, é uma fonte a se explorar, é interessante e pode ser uma opção considerada para o futuro.” (E01)

O entrevistado citado acima identificou as dificuldades de acessibilidade em meio ambiente marítimo, os custos de manutenção mais elevados, a menor disponibilidade dos aerogeradores no mar e o menor tempo de vida útil, como as principais desvantagens da tecnologia eólica *offshore*, que conjugadas, elevam seu preço. Como vantagem foi citada a possibilidade de instalação de turbinas maiores e mais potentes, que possibilitam maior produção de energia. Diante destas considerações, o entrevistado julga ser importante e interessante a consideração desta opção para o setor eólico em Portugal, no futuro.

Segundo o entrevistado citado a seguir, apesar de não haver mais projetos de centrais eólicas *offshore* no país, pelo fato dos custos serem mais elevados em comparação aos relativos às centrais *onshore*, o WindFloat pode ser considerado como um projeto importante e uma aposta vantajosa por promover empresas, investigação e a indústria nacionais. Reconheceu ainda o potencial de exportação da tecnologia para países em que possa ser interessante a implementação das centrais eólicas flutuantes.

“Em Portugal não temos condições para instalação de centrais eólicas fixas ao fundo do mar, a nossa *offshore* é flutuante e o preço desta tecnologia é mais elevado. Portanto, tendo nós este potencial eólico *onshore*, que é muito mais barato apesar de ter alguns inconvenientes em relação à ocupação do território, neste momento não se justifica haver mais projetos *offshore*. Mas parece-me bem que este projeto-piloto, já agora em fase comercial, se tenha desenvolvido porque isto promove as empresas envolvidas, a investigação nacional e a indústria. Neste sentido foi muito importante a criação deste projeto, foi uma aposta vantajosa. A tecnologia desenvolvida aqui para o WindFloat tem potencial e pode ser exportada para outros países que poderiam beneficiar de centrais flutuantes, nomeadamente o Japão, por ser um país que tem pouco espaço em terra e superpopulado.” (E02)

Este outro entrevistado mencionou haver no país a intenção de se reforçar a infraestrutura existente e de se expandir a capacidade instalada na zona-piloto ao largo de Viana do Castelo. Como se pode observar na transcrição a seguir, o ator também citou uma redução considerável nos preços e o interesse de empresas na execução de projetos eólicos offshore com produção de hidrogénio verde em Portugal.

“A nossa costa não é tão fácil de ser explorada como o Mar do Norte. Há a questão da profundidade e por isso não podemos usar as tecnologias usadas nestes países, encarecendo o nosso processo. Sabemos que há intenção de expandir a capacidade instalada que temos na zona-piloto, ao largo de Viana do Castelo, há empresas que têm contactado o governo português para virem testar novas tecnologias aqui em Portugal pois acreditam que temos boas condições para o fazer. Portanto, há pretensão de reforço da capacidade disponível atualmente. Neste momento é preciso reforçar a infraestrutura em mar e em terra, estamos a trabalhar nisto para permitir que a atual instalação que lá está possa crescer e possamos ter também uma zona de teste de tecnologias que possam ser usadas em outras zonas do país ou até serem exportadas. Obviamente é muito mais caro que a eólica *onshore*, mas à medida que os custos forem baixando, e estamos a assistir a uma redução significativa, teremos em Portugal e em outros países a possibilidade de aumentar esta capacidade. Outra área interessante de desenvolvimento é a ligação com o hidrogénio, sabemos que há empresas interessadas em fazer aqui em Portugal projetos de instalação de eólicas *offshore* com produção de hidrogénio associada.” (E04)

Entre outros aspetos já mencionados previamente nesta análise, foi referido pelo ator citado a seguir, a probabilidade do surgimento de um momento de intenso desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore* em Portugal, depois que seja ultrapassado o atual *boom* dos projetos fotovoltaicos.

“Portugal tem imenso potencial *offshore*. O único motivo para a pouca aplicabilidade no país é devido ao fato de ser uma tecnologia muito mais cara em comparação à eólica *onshore*, trata-se de uma questão puramente financeira. Ainda

há muitos locais em terra a serem explorados, por isso enquanto não houver necessidade de se investir no mar, não se vai apostar num negócio que tem rentabilidade potencialmente inferior e risco superior. Quando ultrapassarmos o patamar da tecnologia fotovoltaica muito provavelmente assistiremos ao desenvolvimento da tecnologia eólica *offshore* em Portugal, porém até agora ainda não chegou a altura de o fazer.” (E05)

• Potencial da microgeração doméstica com uso de microturbinas

O uso de painéis solares para geração de energia residencial continua em crescimento, enquanto que o uso de turbinas eólicas para este fim é considerado insignificante, uma vez que o recurso eólico unicamente torna-se insuficiente devido aos obstáculos impostos pelas estruturas das construções nas áreas urbanizadas (Loganathan et al., 2019). No entanto, na futura rede elétrica inteligente, há indicações de se integrar sistemas fotovoltaicos residenciais com microturbinas eólicas devido à complementaridade destes sistemas (Melhem et al., 2016).

A respeito deste tema procurou-se analisar a perceção dos entrevistados sobre o potencial de aproveitamento da energia eólica para microgeração residencial em meios urbanos no país.

Através da análise das respostas obtidas, observou-se, de um modo geral, que os entrevistados estão de acordo entre si quanto ao não reconhecerem substancial potencial na aplicação de microturbinas com fins de uso doméstico em áreas urbanas. As justificações passam, sobretudo, pelos impactes sonoros e visuais e pelo facto de não se tratar de uma solução interessante do ponto de vista da eficiência da produção e também em termos financeiros, ainda mais diante da concorrência imposta pela tecnologia fotovoltaica. Perante os inconvenientes citados, os entrevistados também concordaram no que se refere a uma maior viabilidade desta aplicação em zonas abertas e mais afastadas das cidades.

“Microturbinas são máquinas muito pequenas e altamente rotativas, gerando muito ruído, por isso só vejo aplicabilidade em locais afastados, como quintas por exemplo. A energia gerada só poderia suprir uma parcela muito pequena do consumo de eletricidade. A sua contribuição seria muito pequena face aos impactes causados pelo alto nível de ruído.” (E01)

“Não acho que teria viabilidade ou grande adesão em zonas residenciais, eventualmente em estradas, comunidades e lugares isolados. O rendimento de uma microturbina é muito inferior ao de uma grande turbina, e é muito mais barato produzir numa grande turbina e pagar o investimento da rede de transmissão, por isso não passará de projetos em zonas pequenas que se queiram tornar mais independentes e sustentáveis. A nível de desenvolvimento generalizado não faz sentido.” (E02)

“Tenho sentimentos ambíguos em relação a este tema, acho que a eólica ou eólica-fotovoltaica urbana são possíveis. Entretanto, a tecnologia eólica pode trazer alguns problemas ao nível de ruídos e da produção de vibrações nas estruturas das

habitações, que não estão preparadas para este tipo de efeito. Já em zonas abertas como parques ou quintas, onde houver disponibilidade de vento, não me parece que seja problemático pois as turbinas estariam fixadas ao solo e o ruído ambiente mascara o ruído da turbina.” (E03)

“Em termos de potencial de geração de energia eólica para uso doméstico não é algo novo, já existem há vários anos pequenas turbinas para uso doméstico embora a utilização seja muito residual. Envolve todo um processo de desenvolvimento extenso, complexo, moroso e custoso. É muito complicado prever o vento nestes locais e há grande dificuldade em se produzir energia que compense o investimento. Além disso, há a concorrência com outras tecnologias. A instalação de painéis fotovoltaicos é mais simples e mais barata, além de ser mais fácil prever a produção solar.” (E06)

O entrevistado citado a seguir também se mostrou de acordo com os demais *stakeholders* acerca dos desafios no aproveitamento eólico para microgeração em residências urbanas. Contudo mencionou a existência da Omniflow, uma empresa portuguesa de tecnologia inovadora de microgeração solar e eólica.

“Não vejo muito potencial em áreas urbanas, somente em zonas rurais mais isoladas sobretudo devido ao alto nível de ruído e ao grande impacte visual. Talvez em zonas rurais possa fazer mais sentido, sobretudo com a complementação de painéis fotovoltaicos e soluções de armazenamento. Há uma empresa portuguesa chamada OmniFlow, que tem um produto muito interessante. São turbinas eólicas cilíndricas acopladas em postes de iluminação. É um exemplo de uma aplicação mais interessante de como as turbinas eólicas podem ser integrada nas cidades.” (E04)

Em Portugal, no início do ano 2000, uma equipa de investigadores de diversas instituições nacionais desenvolveram uma turbina eólica concebida especialmente para ambientes urbanos. A “T.Urban” representou um desenvolvimento pioneiro no setor a nível nacional, uma microturbina silenciosa, capaz de operar com pouco vento e reduzir significativamente a fatura de eletricidade de uma casa (Pereira, 2011).

Em relação a este projeto em especial, um dos entrevistados que integrou a equipa responsável pela elaboração desta microturbina, foi convidado a comentar sobre o seu desenvolvimento e aplicabilidade. Na sua resposta, o entrevistado esclareceu que devido à importante queda dos preços da tecnologia fotovoltaica, a aplicação da T.Urban deixou de ter o potencial que tinha inicialmente, quando as condições do mercado eram outras.

“Quando o projeto desta microturbina foi criado, havia um potencial muito grande envolvido, porque nesta altura a tecnologia fotovoltaica ainda não tinha atingido preços tão baixos como os que vemos atualmente. Os custos e os investimentos em microturbinas eólicas sempre são, em termos unitários de potência instalada, consideravelmente mais elevados do que os das grandes turbinas, porém,

nessa altura, eram comparáveis ou menos elevados que os custos dos painéis fotovoltaicos, diferente do que ocorre atualmente. Além do que, é relativamente difícil baixar o preço das microturbinas. Ainda assim, haveria potencial aplicabilidade apenas pontualmente, em locais muito específicos, caracterizados por nevoeiros imensos e muito vento, em regiões com características onde não é adequada a instalação de painéis fotovoltaicos. Portanto, em Portugal já não reconheço tanto potencial como reconhecia alguns anos atrás.” (E05)

4.3 Análise de Projetos

4.3.1 Repotenciação da Central Eólica do Vergão

A Central Eólica do Vergão (Figura 4-1) está localizada no concelho e freguesia de Proença-a-Nova no distrito de Castelo Branco, entrou em funcionamento em finais de 2003 e foi submetida a um processo de repotenciação no ano de 2018, projeto no qual foi feita a substituição de dez aerogeradores de 1,3 MW do modelo Nordex N62 por cinco de 2,4 MW do modelo Nordex N17, totalizando os atuais 12 MW de capacidade instalada.



Figura 4-1 Central Eólica do Vergão (Miranda, 2021)

Os elementos estudados foram explorados por tópicos, apresentados a seguir:

- **Justificação do projeto**

No caso da Central Eólica do Vergão, um dos primeiros projetos de repotenciação no país, a justificação – para além do interesse pelo aspeto financeiro – tem base tecnológica. Por se tratar da primeira central eólica desta entidade promotora, as máquinas instaladas na configuração original eram de uma geração antiga, de tecnologia ultrapassada e faziam um controlo menos preciso da

potência, tornando este o melhor candidato a ser beneficiado pelo projeto de repotenciação entre os demais empreendimentos da empresa.

A decisão pela execução do projeto não teve como base a proximidade com o fim da vida útil dos aerogeradores, neste caso a opção de extensão da vida útil não foi considerada. As primeiras máquinas da Central do Vergão começaram a operar no fim de 2003, pelo que em 2018 – ano de execução do projeto – estas se encontravam em operação há 15 anos, logo faltavam ainda alguns anos para atingir o limite previsto para o fim da vida útil. No caso em particular, foi feita uma análise que concluiu que seria interessante financeiramente a substituição das máquinas antigas por novas tecnologias, possibilitando um aumento substancial na produção de eletricidade.

- **Procedimento de legalização**

Segundo a empresa, devido à nova tipologia dos aerogeradores instalados foi necessário atualizar a licença de exploração emitida pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGRG), onde constam a designação e as principais características técnicas das novas turbinas eólicas instaladas.

No que se refere aos procedimentos de licenciamento envolvidos no processo de repotenciação de uma central eólica, subsistem quatro vertentes: a componente elétrica (no caso a atualização da licença de exploração emitida pela DGRG), a componente ambiental (atribuída pela Agência Portuguesa do Ambiente), a componente do transporte (no caso o transporte especial de componentes de grandes dimensões, que requer autorizações específicas face à necessidade de intervenção em estradas públicas) e a componente de construção (processo de licenciamento de obra na respetiva câmara municipal).

Diante das dificuldades levantadas pelos *stakeholders* entrevistados sobre a falta de estruturação regulatória nos processos de obtenção do licenciamento, procurou-se verificar a persistência deste obstáculo através da experiência realizada pelo projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão.

A falta de critérios objetivos para os diversos licenciamentos foi apontada pela empresa como um obstáculo ao desenvolvimento de projetos deste tipo, especialmente no que se refere aos processos de licenciamento ambiental e elétrico. No caso do Parque Eólico do Vergão, esse efeito foi mitigado por isenção de licenciamento ambiental do local de implantação. No entanto, outros projetos a serem implantados em zonas ambientalmente sensíveis tendem a ser confrontados com requisitos nem sempre lineares ou definidos previamente ao início do processo.

Foram mencionadas duas formas alternativas de facilitação destes processos. Em primeiro lugar, a simplificação dos licenciamentos referidos acima, uma vez que são utilizados infraestruturas e terrenos já afetados por esta atividade. E em segundo, a sensibilização das entidades concessionárias da rede viária, da rede elétrica e da rede fixa de comunicações. Isto porque os projetos de *repowering* implicarão o transporte de componentes com dimensões cada vez maiores, com consequentes desafios na logística de transporte.

No caso do projeto de repotenciação do Parque Eólico do Vergão, o espaço de tempo envolvido desde o início do processo até a conclusão da construção foi de três anos. Entretanto, no geral, sublinha-se que este prazo pode apresentar grande variação, pois depende de diversos fatores como o próprio processo de decisão da entidade promotora, o âmbito do licenciamento ambiental, a disponibilidade das turbinas eólicas selecionadas, etc.

Em Portugal, houve um intenso período de desenvolvimento do setor eólico e por isso há uma grande percentagem de centrais que entraram em operação num curto espaço de tempo, o que quer dizer que a tecnologia das máquinas é semelhante e a idades dos empreendimentos também. Sendo assim, é expectável que a repotenciação destas centrais se verifique novamente no mesmo curto intervalo de tempo, dentro de alguns anos, podendo gerar estrangulamentos nos procedimentos de licenciamento.

- **Evolução no desempenho da produção de energia**

Em termos técnicos observou-se uma melhoria substancial na evolução do desempenho da produção de energia da central eólica. Através da substituição dos antigos aerogeradores por tecnologias mais modernas, foi possível aumentar o fator de capacidade em 94% e a produção de energia da central em 84%. A tabela 4-4 apresenta uma comparação entre dados relativos aos aspetos técnicos da produção da central na sua configuração original e na sua versão atual, depois de submetida ao processo de repowering.

Tabela 4-4 Dados técnicos da evolução na produção da Central Eólica do Vergão (Traduzido de Miranda, 2021)

	Repotenciação vs. Original	Repotenciação	Original
Modelo dos Aerogeradores		Nordex N117	Nordex N62
Potência Instalada		12,0 MW	13,0 MW
No de turbinas / Potencial nominal	-50% / +85%	5 @ 2,4 MW	10 @ 1,3 MW
Diâmetro do rotor	+89%	117 m	62 m
Altura do cubo	+52%	91 m	60 m
Produção de energia	+84%	37,3 GWh	20,3 GWh
Fator de capacidade	+94%	35%	18%

Um dos desafios enfrentados no planeamento da repotenciação trata-se da procura pela maximização da produção durante o período das obras. Neste sentido, o projeto estabeleceu metas desafiadoras, que foram alcançadas através de um planeamento detalhado e minucioso, possibilitando que não houvesse dias sem produção e ainda a operação da central por vários dias com produção simultânea entre as turbinas antigas e novas (respeitando o limite da potência licenciada).

Segundo o contacto realizado com o responsável pelo departamento eólico da empresa, a Central Eólica do Vergão constava entre os empreendimentos menos interessantes da frota e após o projeto de repotenciação passou a ser a central eólica mais eficiente, graças à evolução tecnológica dos aerogeradores. Sendo assim, o caminho para se aumentar a participação da energia eólica no balanço energético através da repotenciação em Portugal mostra-se possível, ainda que diante das dificuldades impostas por entraves nos processos de licenciamento e pela falta de alinhamento nos interesses do país.

- **Aspeto Financeiro**

Procurou-se compreender os possíveis aspetos quanto à viabilidade e rentabilidade económica do projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão através de indicadores económicos de investimento.

Foi revelada a dificuldade ao calcular-se a viabilidade do projeto, isto pelo cálculo do investimento inicial não amortizado e pela redução da tarifa fixa em cerca de 40% do valor inicial (o benefício sofre esta alteração quando se atinge o décimo quinto ano de operação da central). Sendo assim, mesmo neste caso de elevado ganho na produção de energia, a rentabilidade do investimento não chegará sob nenhuma hipótese a mais de 40% ou 60% do valor inicial do negócio. Contudo, a alternativa seria cancelar a produção de energia eólica.

Segundo a empresa, no que se refere ao investimento, o valor do CapEx permaneceu entre 1 e 1,1 milhões de euros por MW, incluindo a desmontagem da maquinaria original, a aquisição das novas turbinas eólicas e a locação do terreno.

Em relação às despesas operacionais, no caso em especial foi possível negociar um contrato de Operação e Manutenção com preço por MWh produzido inferior ao do contrato associado ao projeto original, levando a uma redução específica do OpEx. Os restantes elementos do OpEx não sofreram alterações significativas, uma vez que foram mantidas a instalação elétrica e as restantes infraestruturas associadas à central (situação comum à maioria dos projetos de *repowering*).

- **Aspeto Ambiental**

No caso da Central Eólica do Vergão, o projeto não se encontrava em zona ambientalmente sensível e por este motivo foi dispensado de qualquer avaliação de impacte ambiental, tendo sido apenas realizada monitorização de ruído.

Entretanto, o mesmo não é válido para outras centrais inseridas em zonas sensíveis. Tendo em vista esta questão e o facto de atualmente o licenciamento ambiental apresentar ainda mais obstáculos em comparação ao que se passava anteriormente, no início do desenvolvimento do setor, é possível que quando o número de projetos de repotenciação aumentar, as dificuldades na obtenção de aprovação sejam agravadas.

4.3.2 Solução de aproveitamento eólico em meios urbanos: poste de iluminação inteligente com sistema híbrido eólico-solar

O interesse em explorar este dispositivo surgiu diante da investigação do potencial da microgeração eólica para aproveitamento a nível doméstico. Quando abordados sobre este tópico, os atores entrevistados não reconheceram com entusiasmo o potencial do uso de microturbinas para autoconsumo residencial em meios urbanos, sobretudo porque a produção representaria apenas uma pequena parcela do consumo energético e sua contribuição não faria sentido frente ao investimento e aos impactos causados (nomeadamente a produção de ruído, o impacto visual e a produção de vibrações nas estruturas). Soma-se ainda a concorrência imposta pela consolidação e pelos preços mais atrativos da tecnologia solar fotovoltaica.

Neste contexto, um dos entrevistados mencionou a existência deste produto que representa uma aplicação interessante do uso de microturbinas para o aproveitamento eólico em meios urbanos, neste caso com a finalidade de abastecimento energético sustentável para postes de iluminação em locais públicos.

- **Caracterização do produto**

O OmniLED (Figura 4-2) é produto de uma empresa de tecnologia portuguesa. Trata-se de um sistema inteligente de iluminação para espaços públicos, alimentado por fonte eólica-solar e com sistema de armazenamento de energia, com o objetivo de reduzir a necessidade de consumo de energia da rede e de eliminar emissões de CO₂. O sistema dispõe de conexão à rede, integrando um conjunto de funcionalidades. O dispositivo pode ser usado para vários fins de IoT, como iluminação pública, redes Wi-Fi, vídeo vigilância ou redes de 5G (Omniflow, n.d.-a).

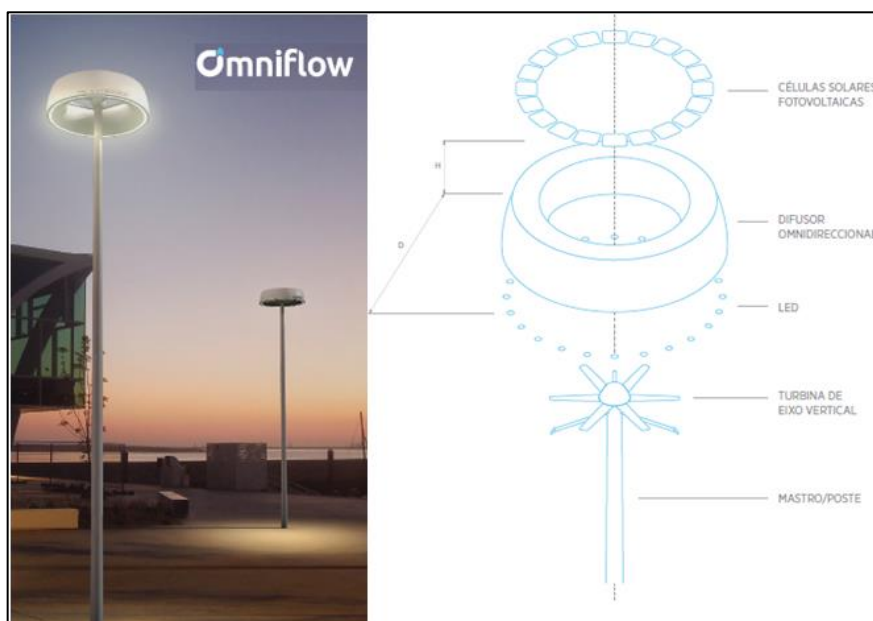


Figura 4-2 Omniled (Omniflow, n.d.-a)

A turbina eólica omnidirecional é do tipo de eixo vertical, usa o corpo exterior do difusor do dispositivo como uma asa invertida capaz de direcionar o vento vindo de qualquer direção para o rotor principal central em posição vertical. As células solares estão dispostas na parte superior do dispositivo radialmente e assim complementam a capacidade de produção de energia. A eletricidade produzida é armazenada em baterias de longa duração instaladas no interior do corpo (Omniflow, n.d.-a).

O sistema pode ser instalado em duas configurações: *off-grid*, ou seja de maneira independente da rede elétrica, ou *on-grid*, sendo neste caso com ligação à rede elétrica. Na configuração *on-grid* o dispositivo conta com o apoio da energia elétrica adicional da rede, podendo assim ser assegurada a continuidade de fornecimento de energia às demais funcionalidades instaladas. Esta última versão pode ainda ser equipada com microinversores para possibilitar a injeção do excedente da produção na rede elétrica (Omniflow, n.d.-a)

- **Vantagens do Produto**

Diante das vantagens descritas a seguir, este produto mostra-se como uma solução interessante, pelo que a sua abordagem neste estudo se faz pertinente, sobretudo por se tratar de uma aplicação da microgeração eólica em meios urbanos que procurou solucionar os inconvenientes citados na literatura e reiterados nos discursos dos atores entrevistados, como os padrões irregulares característicos do vento urbano, os elevados custos de manutenção, a emissão de ruído, o impacto visual causado pelas sombras das pás e a produção de vibração nas estruturas de fixação.

Comparado com a iluminação dos postes normalmente utilizados, estes sistemas alcançam economias significativas. Por se tratar de um modelo híbrido eólico-solar, a complementaridade das fontes eleva os níveis de eficiência da iluminação. Os materiais empregues na composição do produto foram escolhidos com o intuito de tornar o dispositivo durável e com mínima necessidade de manutenção. (Omniflow, n.d.-a; Omniflow, n.d.-b).

A emissão de ruído foi um dos fatores considerados com cuidado no desenvolvimento do produto. Os baixos níveis de emissão de ruído são garantidos através do uso do difusor, que envolve a turbina, e da otimização do rotor para que este atinja a potência máxima garantindo que a ponta da pá não ultrapasse um determinado limite de velocidade (Portal Energia - Energias Renováveis, 2012).

No que se refere aos impactes visuais, o sistema apresenta a vantagem de não ter praticamente componentes móveis visíveis eliminando as sombras em movimento, o que podia ser desagradável. As vibrações são também eliminadas através de um sistema duplo de amortecimento que impede a propagação para o poste e, conseqüentemente, para a estrutura onde estiver fixado (Portal Energia - Energias Renováveis, 2012).

- **Aplicações**

Os dispositivos OmniLEDs estão instalados em diversas zonas de Portugal e em mais de 30 países pelo mundo. São expostos a seguir dois projetos para ilustrar diferentes aplicações deste produto.

O primeiro deles é o projeto de iluminação sustentável do parque de estacionamento das piscinas públicas do município de Matosinhos situado no norte de Portugal, ilustrado pela Figura 4-3.



Figura 4-3 Iluminação do parque de estacionamento das piscinas públicas de Matosinhos (Omniflow, 2020)

Este projeto apontou a descarbonização como seu principal objetivo, onde 42 cabeças de luz existentes originalmente foram substituídas por 18 postes de luz inteligente OmniLED, que produzem energia através de seu sistema híbrido eólico-solar com armazenamento integrado e sensores de movimento que possibilitam adaptar a luz às necessidades.

Este sistema gera uma economia de energia de 97,2% em comparação com o sistema padrão anterior, o que se traduz em 16,5 toneladas de CO₂ evitadas por ano. Os dispositivos podem ainda hospedar outros aplicativos, como Wi-Fi público, videovigilância, visão computacional para estacionamento inteligente e fornecimento de suprimentos de conectividade para estações de carregamento de veículos elétricos (Omniflow, 2020).

O segundo projeto envolve um sistema de prevenção de aglomerações em praias. O projeto foi criado sob o olhar das atuais circunstâncias de imposição de obstáculos à convivência social em meio à pandemia do novo Coronavírus. Esta solução foi desenvolvida com o objetivo de promover maior segurança ao regresso da época balnear para o verão de 2020, na praia de Faro, na região do Algarve, em Portugal.

Neste projeto, a tecnologia OmniLED foi equipada com inteligência artificial e sensores para avaliar a ocupação de toda a praia ou áreas específicas. Como mostra a Figura 4-4, o dispositivo

analisa os níveis de ocupação em tempo real e esta informação é apresentada numa tela de baixo consumo de energia na base dos postes que estão localizados nos acessos da praia.



Figura 4-4 Sistema de prevenção de aglomerações (Adaptado de Smart Cities World, 2020)

Quando a ocupação de uma zona ultrapassa o valor que foi previamente definido como limite, o sistema mostra no semáforo a cor vermelha e é transmitida uma comunicação de áudio para alertar que a zona está completa e que os banhistas devem ir para uma área menos concentrada. Desta forma o utilizador é habilitado de tomar uma decisão informada com base nos registos atualizados em tempo real, proporcionando uma distribuição mais uniforme das pessoas pela praia. O sistema pode ainda ser equipado com um módulo para varredura da temperatura corporal sem contacto e gel desinfetante para as mãos (Smart Cities World, 2020).

5. Conclusão

A presente dissertação procurou, na sua primeira fase, identificar os principais fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica no balanço energético global. Foram explorados potenciais fatores referidos na literatura científica e em relatórios de organizações nacionais e internacionais relevantes. Procurou-se gerar uma prospeção ampla – incluindo aspetos tecnológicos, socioeconómicos, políticos e ambientais – do cenário atual do desenvolvimento do setor eólico através de uma análise SWOT que considerou fatores internos como as forças e fraquezas características da tecnologia, e também fatores externos, como as oportunidade e ameaças presentes no mercado energético.

Dentre as forças identificadas para a tecnologia eólica como fonte geradora de energia, destacou-se o custo médio de eletricidade entre os mais baixos do mercado, o notável progresso em termos de avanços tecnológicos, a evolução da capacidade instalada mundialmente e a sua importante contribuição no provimento energético e na diminuição da pegada carbónica. As principais fraquezas identificadas relacionam-se, sobretudo, com a natureza variável do recurso eólico que dificulta a sua integração na rede elétrica principal e com os riscos e impactes ambientais relacionados à instalação e operação das centrais eólicas.

Em termos de oportunidades destacou-se a atual aceleração da transição energética, a adoção de metas políticas de controlo das alterações climáticas que fomentam uma maior participação das fontes renováveis na produção energética e a tendência de novas soluções como a hibridização e a produção do hidrogénio verde. Contudo, foram identificadas ameaças que impõem dificuldades ao desenvolvimento do setor, como a morosidade e imprevisibilidade dos processos de autorização dos projetos e a transição dos regimes de subsídios para a adoção de mecanismos competitivos como leilões e licitações que intensificam a concorrência de preços e a competitividade entre as demais fontes de energia, em especial a tecnologia solar fotovoltaica.

Na construção do panorama que compreende a formação das quatro abordagens da relação entre os elementos identificados, a abordagem agressiva verificou que o somatório das forças da tecnologia eólica evidenciaram o seu potencial no aproveitamento das oportunidades, com destaque a componente *offshore*, considerada como um elemento-chave da transição energética e a tecnologia renovável com maior potencial para a produção de hidrogénio verde.

A abordagem defensiva demonstrou que as fraquezas decorrentes dos inconvenientes da natureza variável do recurso eólico criaram dificuldades através da introdução de custos adicionais e da necessidade de medidas complementares de flexibilidade e balanço para viabilizar a sua integração na rede elétrica, para além das adversidades representadas pelos riscos e impactes ambientais que levam à necessidade de soluções de minimização dos conflitos e perturbações nas comunidades e no meio.

A abordagem de segmentação focou na ameaça imposta pela competitividade no mercado energético. Verificou-se que o setor eólico tem enfrentado o desafio da intensificação da concorrência

de preços com contínuos avanços tecnológicos em busca pela redução de custos e pelo aumento da produção e eficiência do sistema. Comparativamente às demais fontes de energia, além do baixo custo, outra vantagem da energia eólica refere-se à sua contribuição na diminuição da pegada carbónica, destacando-se como uma tecnologia que dispõe de um dos menores índices de impacto na produção de energia, em termos de aquecimento global.

A abordagem de desinvestimento identificou um potencial obstáculo imposto pela existência de uma oposição de carácter ambientalista aos projetos eólicos, no sentido de beneficiarem da morosidade dos processos de licenciamento, intensificando a barreira administrativa enfrentada pelas empresas promotoras nos procedimentos de autorização de seus projetos.

A análise investigou ainda aspetos da microgeração eólica a nível doméstico em meios urbanos. Sob o olhar da abordagem de desinvestimento evidenciou-se a consolidação da tecnologia solar fotovoltaica na microgeração residencial somada às dificuldades do aproveitamento do recurso eólico pelo seu comportamento característico turbulento e desordenado em meios edificados. Já a abordagem de segmentação, identificou estudos que indicam a associação de sistemas fotovoltaicos residenciais com a instalação de microturbinas, resultando em sistemas híbridos que fazem proveito da complementaridade das fontes eólica e solar.

Os resultados obtidos através da elaboração desta primeira análise indicam que os fatores interpretados como forças e oportunidades do setor eólico sobrepõem as fraquezas e ameaças identificadas. Foi verificada intensa evolução nas últimas décadas e acredita-se que nos próximos anos a tecnologia eólica continue a crescer em todo o mundo, seja pelas tradicionais turbinas fixadas em terra ou pela tecnologia *offshore*. A atual problemática ambiental intensifica o interesse das nações e organizações em investir no desenvolvimento desta tecnologia que apresenta vantagens importantes em termos de custos e preservação ambiental. Os avanços tecnológicos permitem cada vez mais a superação das dificuldades impostas pela variabilidade e pelos impactos relacionados à energia eólica.

Na segunda fase do estudo, o foco da análise foi direcionado para o caso português, através da realização de um conjunto de entrevistas com atores relevantes do setor eólico nacional, cujos contributos revelaram as suas respetivas avaliações e perceções acerca do atual cenário de desenvolvimento do setor eólico no país. Em síntese, foi possível concluir que:

- Foram consideradas ambiciosas as metas estabelecidas para o setor eólico nacional, ainda que tenha sido reconhecido o potencial do desenvolvimento da tecnologia eólica no país;
- A repotenciação e o sobre-equipamento foram identificados como os principais instrumentos a serem usados no cumprimento destas metas;
- Foi reconhecida a necessidade de haver vontade política no licenciamento dos projetos eólicos, sobretudo diante da intensa concorrência em termos de preços da tecnologia solar fotovoltaica, que atingiu reduções expressivas nos últimos anos;
- A complexidade e morosidade associadas aos processos de licenciamento foram reconhecidas como obstáculos ao desenvolvimento do setor eólico em Portugal, sobretudo

no que se refere à componente ambiental. Foram sugeridos como possíveis soluções a criação de uma instituição única para atuar na simplificação e aceleração dos processos, bem como a contratação adicional de recursos humanos e de meios de informatização;

- Há uma certa urgência no que se refere à proximidade do fim de vida útil dos aerogeradores das primeiras centrais eólicas do país, que, para se manterem em funcionamento, evitando uma expressiva diminuição do setor, dependem de investimentos de reaproveitamento das estruturas existentes seja através da repotenciação ou da extensão de vida útil das máquinas;
- Em Portugal observou-se uma maior tendência para a adoção da extensão de vida útil dos aerogeradores ainda que esta seja uma solução não desejável do ponto de vista técnico, sendo uma das possíveis justificações, a comodidade proporcionada em manterem-se as centrais eólicas a operar sob as circunstâncias atuais em que muitas ainda usufruem do benefício da tarifa fixa;
- Embora haja grande interesse na repotenciação das centrais eólicas, a sua aplicabilidade parece encontrar obstáculos na obtenção do licenciamento e na ausência de clareza na estruturação regulatória do processo, o que poderá dificultar o atingir das metas traçadas para o setor, caso não sejam revistos os procedimentos envolvidos;
- Portugal foi considerado um caso de sucesso no que se refere à gestão da rede elétrica com alta penetração de energia renovável e eólica, um dos motivos apontados é o portfólio de centrais hídricas, muitas delas reversíveis, que atuam no apoio da gestão da variabilidade na produção de energia renovável;
- Foi reconhecido o interesse por parte das autoridades e das empresas promotoras em intenções de projetos envolvendo a hibridização da tecnologia eólica com outras fontes renováveis e a produção de hidrogénio verde, alimentada pelo excedente da produção eólica, sendo ambas as soluções constatadas como importantes oportunidades para o crescimento do setor no país;
- Foi reconhecido potencial no desenvolvimento futuro da tecnologia eólica *offshore* no país, isto devido às particularidades da costa portuguesa e à disponibilidade de espaço em terra ainda por explorar, que conferem custos expressivamente mais elevados em comparação à tecnologia *onshore*.

Finalmente, a terceira fase deste estudo procurou explorar em maior detalhe, dois elementos de destaque através da investigação de projetos concretos. O primeiro elemento explorado foi o projeto de repotenciação da Central Eólica do Vergão, no distrito de Castelo Branco, em Portugal. A análise verificou que o investimento na substituição das turbinas antigas por aerogeradores mais modernos proporcionou um aumento substancial na produção de energia, o que justificou o interesse na execução do projeto. Foi ainda verificada a falta de critérios objetivos nos processos de licenciamento como um dos obstáculos ao desenvolvimento de projetos deste tipo, em especial a vertente ambiental e elétrica.

Sendo assim, o caminho para aumentar a participação da energia eólica no balanço energético através da repotenciação em Portugal mostrou-se possível, ainda que tenham que ser revistos os procedimentos regulatórios para simplificar o processo de obtenção da aprovação dos projetos.

O segundo elemento explorado trata-se de um poste de iluminação inteligente com sistema híbrido eólico-solar. Esta solução foi apresentada como uma interessante aplicação do uso de turbinas eólicas para produção de energia em meios urbanos, sobretudo por se tratar de uma abordagem que procurou solucionar os inconvenientes citados na literatura e reiterados nos discursos dos atores entrevistados, como os padrões irregulares característicos do vento urbano, elevados custos de manutenção, emissão de ruído, impacto visual causado pelas sombras das pás e a produção de vibração nas estruturas de fixação.

Referências Bibliográficas

- Adil, A. M., & Ko, Y. (2016). Socio-technical evolution of Decentralized Energy Systems: A critical review and implications for urban planning and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1025–1037. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.079>
- Al-Shetwi, A. Q., Hannan, M. A., Jern, K. P., Mansur, M., & Mahlia, T. M. I. (2020). Grid-connected renewable energy sources: Review of the recent integration requirements and control methods. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119831. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119831>
- APREN. (2019a). *Anuário APREN 2019*. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- APREN. (2019b). *Boletim eletricidade renovável - Dezembro 2019*. <https://www.apren.pt/contents/publicationsreportcarditems/boletim-energias-renovaveis-dezembro-2019-vf.pdf>
- APREN. (2020). *Anuário APREN 2020*. Retrieved from <https://www.apren.pt/pt/publicacoes/apren/anuario-apren-2020>
- Ayodele, T. R., & Munda, J. L. (2019). Potential and economic viability of green hydrogen production by water electrolysis using wind energy resources in South Africa. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17669–17687. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.077>
- Baltas, A. E., & Dervos, A. N. (2012). *Special framework for the spatial planning & the sustainable development of renewable energy sources*. 48, 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.05.015>
- Bardin, L. (2010). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Barros, M. V., Salvador, R., Piekarski, C. M., Francisco, A. C., & Freire, F. M. cereja S. (2020). *Life cycle assessment of electricity generation : a review of the characteristics of existing literature*. 36–54.
- Behrens, P., Rodrigues, J. F. D., Brás, T., & Silva, C. (2016). Environmental, economic, and social impacts of feed-in tariffs: A Portuguese perspective 2000-2010. *Applied Energy*, 173, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.044>
- Bell, J. (2010). *Como realizar um projecto de investigação - Um guia para a pesquisa em ciências sociais e da educação* (5th ed.; G. Valente, Ed.). Lisboa: Gradiva.
- Boni, V., & Quaresma, J. (2005). Aprendendo a entrevistar como fazer entrevistas em Ciências Sociais. *Em Tese*, 2(1), 68–80. <https://doi.org/10.5007/18027>
- Borges, M. B. M. (2018). *Comercialização de Energia Eólica no Mercado Diário e de Reservas : Estratégias de Licitação e Penalizações*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Borunda, M., de la Cruz, J., Garduno-Ramirez, R., & Nicholson, A. (2020). Technical assessment of small-scale wind power for residential use in Mexico: A Bayesian intelligence approach. *PLoS*

- ONE, 15(3), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230122>
- Boudellal, M. (2018). *Power-to-Gas: Renewable Hydrogen Economy, Power-to-Gas*. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Cali, U., & Fifield, A. (2019). Towards the decentralized revolution in energy systems using blockchain technology. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 8(3), 245–256. <https://doi.org/10.12720/sgce.8.3.245-256>
- Capellán-Pérez, I., Campos-Celador, Á., & Terés-Zubiaga, J. (2018). Renewable Energy Cooperatives as an instrument towards the energy transition in Spain. *Energy Policy*, 123(May), 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.064>
- Chang, M. K., Eichman, J. D., Mueller, F., & Samuelsen, S. (2013). Buffering intermittent renewable power with hydroelectric generation: A case study in California. *Applied Energy*, 112, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.092>
- Chiavenato, I., & Sapiro, A. (2009). *Planejamento estratégico: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Elsevier.
- Claeys, G., Tagliapietra, S., & Zachmann, G. (2019). How to make the European Green Deal work. *Bruegel Policy Contribution*, (14).
- Deloitte, & APREN. (2019). *Impacto da eletricidade de origem renovável*. <https://www.apren.pt/contents/files/apren-relatorio-impactos-eletricidade-fer.pdf>
- DGEG. (2020). *Estatísticas Rápidas - nº 187 - junho de 2020*. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Díaz, H., & Guedes Soares, C. (2020). Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 209(June). <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107381>
- Dincer, F. (2011). The analysis on wind energy electricity generation status, potential and policies in the world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5135–5142. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.042>
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (2005). Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9(2), 169–189. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.02.002>
- E2p. (2020). Evolução da potência eólica instalada. Retrieved August 24, 2020, from <https://e2p.inegi.up.pt/>
- EDP. (2019). Windfloat. Retrieved August 29, 2020, from <https://www.edp.com/pt-pt/inovacao/windfloat>
- Enevoldsen, P., & Valentine, V. S. (2016). Energy for Sustainable Development Do onshore and offshore wind farm development patterns differ ? 35, 41–51.

- European Commission. (2019). *Wind Energy Technology Market Report*. <https://doi.org/10.2760/223306>
- Expresso. (2019). *Eólicas vão poder acoplar centrais solares*. Retrieved August 29, 2020, from <https://expresso.pt/economia/2019-04-06-Eolicas-vao-poder-acoplar-centrais-solares>
- Ganiyu, S. O., & Martínez-Huitle, C. A. (2020). The use of renewable energies driving electrochemical technologies for environmental applications. *Current Opinion in Electrochemistry*, 22, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.07.007>
- Governo de Portugal. (2019). *Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030)*. (Pnec 2030).
- Grosspietsch, D., Saenger, M., & Girod, B. (2019). Matching decentralized energy production and local consumption: A review of renewable energy systems with conversion and storage technologies. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 8(4), 1–18. <https://doi.org/10.1002/wene.336>
- GWEC. (2019). Global wind energy council report 2018. In *Wind Global Council Energy*. <https://gwec.net/global-wind-report-2018/>
- GWEC. (2020). Global Wind Report 2019. In *Wind energy technology*. <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>
- Hirth, L., Ueckerdt, F., & Edenhofer, O. (2015). Integration costs revisited - An economic framework for wind and solar variability. *Renewable Energy*, 74, 925–939. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.065>
- Hodge, B. M., Brancucci Martinez-Anido, C., Wang, Q., Chartan, E., Florita, A., & Kiviluoma, J. (2018). The combined value of wind and solar power forecasting improvements and electricity storage. *Applied Energy*, 214(December 2017), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.120>
- Huang, Y. F., Gan, X. J., & Chiueh, P. Te. (2017). Life cycle assessment and net energy analysis of offshore wind power systems. *Renewable Energy*, 102, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.050>
- Iberwind. (n.d.). O Poder do Vento: Sobre-equipamento e Repowering. Retrieved August 18, 2020, from <https://expresso.pt/economia/2019-04-06-Eolicas-vao-poder-acoplar-centrais-solares> <https://www.iberwind.pt/pt/o-poder-do-vento/desafio-global/#8>
- IEA Wind. (2019). *IEA Wind TCP 2018 Annual Report*. https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/IEAWIND/c90e3186-96d9-46cd-b06d-3ce3684613c5/UploadedImages/Annual_Report/2018_IEAWind_Annual_Report_Exec_Summ_-_web.pdf
- IEA Wind. (2020). *IEA Wind TCP 2019 Annual Report*. <https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2020/12/Annual-Report-Now-Available.pdf>
- INEGI, & APREN. (2018). *Parques Eólicos em Portugal*. <https://www.apren.pt/contents/documents/portugal-parques-eolicos-2018.pdf>
- IRENA. (n.d.). Wind Energy. Retrieved July 29, 2020, from <https://www.irena.org/wind>

- IRENA. (2014). "Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2014." In *International Renewable Energy Agency*. <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/rejobs-annual-review-2014.pdf?la=en&hash=B8849C50964D275EA638B1206B0D1ACBA0BDDBB9>
- IRENA. (2015). Renewable Energy Target Setting. In *Irena*. <https://www.irena.org/publications/2015/Jun/Renewable-Energy-Target-Setting>
- IRENA. (2016). Wind power - technology Brief. In *Energy*. <https://doi.org/10.1049/ep.1976.0231>
- IRENA. (2017). Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. In *Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets*. <https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>
- IRENA. (2019a). Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. In *International Renewable Energy Agency (IRENA)*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf
- IRENA. (2019b). Renewable Power Generation Costs in 2019. In *International Renewable Energy Agency*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- IRENA. (2021). Renewable capacity highlights. Retrieved June 29, 2021, from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B91
- Irena, & GWEC. (2013). *30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from 12 Wind Energy Markets*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/GWEC_WindReport_All_web-display.pdf
- Johann, D. (2015). *Discussão sobre a utilização de gases combustíveis para aquecimento de água no setor residencial no Brasil: Uma análise SWOT*. Universidade de São Paulo.
- Kauark, F. da S., Manhães, F. C., & Medeiros, C. H. (2010). *Metodologia da Pesquisa: Um Guia Prático*. Itabuna: Via Litterarum.
- Kouhestani, F. M., Byrne, J., Spencer, L., Brown, B., Johnson, D., Mansouri, F., ... Spencer, L. (2019). A comprehensive assessment of solar and wind energy potential at the University of Lethbridge campus , a medium-sized western Canadian university. *International Journal of Green Energy*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1671400>
- Kroposki, B., Levene, J., Harrison, K., Sen, P. K., & Novachek, F. (2006). *Electrolysis: Information and opportunities for electric power utilities*.
- Landt, C., & Kjær, T. (2018). *Transnational report on state of play in spatial planning for renewable energy in the participatins regions: Creating Space for renewables*.
- Lehtola, T., & Zahedi, A. (2019). Solar energy and wind power supply supported by storage technology: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 25–31.

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.05.013>

- Llera Sastresa, E., Usón, A. A., Bribián, I. Z., & Scarpellini, S. (2010). Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.017>
- Loganathan, B., Chowdhury, H., Mustary, I., Rana, M. M., & Alam, F. (2019). Design of a micro wind turbine and its economic feasibility study for residential power generation in built-up areas. *Energy Procedia*, 160(2018), 812–819. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.153>
- Macedo, L. D. de. (2016). " O estado da arte da geração de energia eólica no mundo: apresentação e discussão ". *Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas*, 133–149.
- Martínez, E., Latorre-Biel, J. I., Jiménez, E., Sanz, F., & Blanco, J. (2018). Life cycle assessment of a wind farm repowering process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93(April), 260–271. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.044>
- Melhem, F. Y., Moubayed, N., & Grunder, O. (2016). Residential energy management in smart grid considering renewable energy sources and vehicle-to-grid integration. *2016 IEEE Electrical Power and Energy Conference, EPEC 2016*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EPEC.2016.7771746>
- Mendes, J. F., Salgueiro, A., Cardoso, J., & Coelho, R. E. (n.d.). Portugal 2020 e a integração de energias renováveis nos edifícios. *LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.*
- Ministério da Economia e do Emprego (2013). Diário da República n.º 42/2013, Série I de 2013-02-28. Decreto-Lei n.º 35/2013, 1154 - 1165. Available at <https://dre.pt/application/conteudo/259256>.
- Ministério da Indústria e Energia (1988). Diário da República n.º 123/1988, Série I de 1988-05-27. Decreto-Lei n.º 189/88, 2289 - 2296. Available at: <https://dre.pt/application/conteudo/374244>.
- Ministério do Ambiente e da Acção Climática (2020). *Estratégia Nacional para o Hidrogénio*. , Pub. L. No. Diário da República N.º 158 Série I de 2020-08-14, 97.
- Miranda, J. (2021). Repowering a Wind Farm Vergao WF as a case Study. *Conference: Redesigning Wind Energy for the next Era*. APREN; WIBIS.
- Mussa, M. (2018). Environmental Impacts of Hydropower and Alternative Mitigation Measures. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 2(2), 184–186. <https://doi.org/10.32474/ciacr.2018.02.000133>
- Mustafa, A. M., & Al-Mahadin, A. (2018). Risk assessment of hazards due to the installation and maintenance of onshore wind turbines. *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences, ASET 2018*, (February), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICASET.2018.8376789>
- Natarajan, V. A., & Karatampati, P. (2019). Survey on renewable energy forecasting using different techniques. *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Power and Embedded Drive Control, ICPEDC 2019*, 349–354. <https://doi.org/10.1109/ICPEDC47771.2019.9036569>
- Nautiyal, H., & Goel, V. (2020). Sustainability assessment of hydropower projects. *Journal of Cleaner*

- Production*, 265, 121661. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121661>
- Nazir, M. S., Ali, N., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2020). ScienceDirect Potential environmental impacts of wind energy development : A global perspective. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13, 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.01.002>
- Nazir, M. S., Mahdi, A. J., Bilal, M., Sohail, H. M., Ali, N., & Iqbal, H. M. N. (2019). Environmental impact and pollution-related challenges of renewable wind energy paradigm – A review. *Science of the Total Environment*, 683, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.274>
- Notton, G., Nivet, M. L., Voyant, C., Paoli, C., Darras, C., Motte, F., & Fouilloy, A. (2018). Intermittent and stochastic character of renewable energy sources: Consequences, cost of intermittence and benefit of forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87(February), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.007>
- Nugent, D., & Sovacool, B. K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, 65, 229–244. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048>
- Observatório da Energia. (2020). Plano Nacional do Hidrogênio. Retrieved August 20, 2020, from <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/comunicar-energia/post/8522/plano-nacional-do-hidrogenio-metas-2030/>
- Observatório de Energia, DGEG, & APREN. (2019). *Energia em Números*. https://www.observatoriodaenergia.pt/wp-content/uploads/2019/08/Energia_em_Numeros_edicao_2019_atualizado.pdf
- Olabi, A. G. (2017). Renewable energy and energy storage systems. *Energy*, 136, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.054>
- Omniflow. (n.d.-a). *Catálogo: SISTEMA AUTÓNOMO DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE* (p. 5). p. 5.
- Omniflow. (n.d.-b). Frequently asked questions. Retrieved November 20, 2020, from Support Section website: <https://pt.omniflow.io/support>
- Omniflow. (2020). Public parking lot is now saving 16.5 TON of CO2 per year. Retrieved November 20, 2020, from <https://pt.omniflow.io/post/public-parking-lot-is-now-saving-16-5-ton-of-co2-per-year>
- Ould Amrouche, S., Rekioua, D., Rekioua, T., & Bacha, S. (2016). Overview of energy storage in renewable energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(45), 20914–20927. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.243>
- Palmas, C., Siewert, A., & von Haaren, C. (2015). Exploring the decision-space for renewable energy generation to enhance spatial efficiency. *Environmental Impact Assessment Review*, 52, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.06.005>
- Pereira, I. Q. G. (2011). *Condições de viabilidade da microgeração eólica em zonas urbanas*. Universidade do Porto.

- Porciúncula, K. R. (2019). *Análise dos Impactos Ambientais Causados pela Energia Eólica: Um Estudo de Caso no Parque Eólico Cerro Chato de Santana do Livramento-RS*. Universidade Federal do Pampa.
- Portal Energia - Energias Renováveis. (2012). Omniflow, tecnologia Portuguesa inovadora de microgeração solar e eólica. Retrieved November 20, 2020, from <https://www.portal-energia.com/omniflow-tecnologia-portuguesa-inovadora-de-microgeracao-solar-e-eolica/>
- Portal Energias Renováveis. (2018). França aposta forte na energia eólica. Retrieved October 20, 2020, from <https://www.portal-energia.com/franca-aposta-forte-na-energia-eolica/>
- Presidência do Conselho de Ministros (2019). Decreto-Lei n.º 76/2019. Diário da República n.º 106/2019, Série I de 2019-06-03, 2792 - 2865. Available at <https://dre.pt/application/conteudo/122476954>.
- Presidência do Conselho de Ministros (2019). Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019. Diário da República n.º 123/2019, Série I 2019-07-01, 3208–3299. Available at: <https://dre.pt/application/conteudo/122777644>
- Proença, S., & St. Aubyn, M. (2013). Hybrid modeling to support energy-climate policy: Effects of feed-in tariffs to promote renewable energy in Portugal. *Energy Economics*, 38, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.02.013>
- Ram, M., Aghahosseini, A., & Breyer, C. (2020). Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. *Technological Forecasting and Social Change*, 151(May 2019), 119682. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.06.008>
- Ram, M., Child, M., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Lohrmann, A., & Breyer, C. (2018). A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030. *Journal of Cleaner Production*, 199, 687–704. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.159>
- Rebello, D. A. D. (2019). *Análise da Influência da Produção Eólica sobre os Preços do Mercado Ibérico de Eletricidade*.
- Regan, T., Beale, C., & Inalpolat, M. (2017). Wind Turbine Blade Damage Detection Using Supervised Machine Learning Algorithms. *Journal of Vibration and Acoustics, Transactions of the ASME*, 139(6), 1–14. <https://doi.org/10.1115/1.4036951>
- REN21. (2019). Renewables 2019 Global Status Report. In *Resources*. <https://doi.org/10.3390/resources8030139>
- REN21. (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf
- Sales, C., & Uhlig, A. (2017). A energia renovável variável. *Instituto de Economia Da Universidade Federal Do Rio de Janeiro*. Retrieved from <http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/sales90.pdf>

- Saris, W. E., & Gallhofer, I. N. (2007). Design, evaluation, and analysis of questionnaires for survey research. In *Design, Evaluation, and Analysis of Questionnaires for Survey Research*. <https://doi.org/10.1002/9780470165195>
- Sattar, A., Al-durra, A., Member, S., Caruana, C., Member, S., Debouza, M., ... Member, S. (2020). Testing the Performance of Battery Energy Storage in a Wind Energy Conversion System. *IEEE*, 56(3), 3196–3206.
- Seay, J., Lunghi, E., Rehman, A., & Fabiano, B. (2017). Analysis of accident data for the bioenergy sector based on second generation feedstocks. *Chemical Engineering Transactions*, 57(June), 781–786. <https://doi.org/10.3303/CET1757131>
- Shipurkar, U., Polinder, H., & Ferreira, J. A. (2016). Modularity in wind turbine generator systems - Opportunities and challenges. *2016 18th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2016 ECCE Europe*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/EPE.2016.7695592>
- Silva, A. H., Ivete, M., & Fossá, T. (2015). Análise De Conteúdo: Exemplo De Aplicação Da Técnica Para Análise De Dados Qualitativos. *Dados Em Big Data*, 1(1), 23–42. <https://doi.org/10.18391/qualitas.v16i1.2113>
- Simas, M., & Pacca, S. (2013). Energia. *Estudos Avançados*, 27(77), 97–116.
- Simões, T., Couto, A., & Estanqueiro, A. (2019). Contribuição da repotenciação de centrais eólicas para as metas do PNEC 2030. *Renováveis Magazine*, 2–4.
- Smart Cities World. (2020). Crowd prevention system uses smart pole to create safer beaches. Retrieved November 23, 2020, from <https://www.smartcitiesworld.net/smart-cities-news/smart-cities-news/crowd-prevention-system-uses-smart-pole-to-create-safer-beaches-5302>
- Smil, V. (2016). Power Density: a Key to Understanding Energy Sources and Uses. *MIT Press*.
- Sooriyaarachchi, T. M., Tsai, I. T., El Khatib, S., Farid, A. M., & Mezher, T. (2015). Job creation potentials and skill requirements in, PV, CSP, wind, water-to-energy and energy efficiency value chains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 653–668. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.143>
- Stewart, G., & Muskulus, M. (2016). A Review and Comparison of Floating Offshore Wind Turbine Model Experiments. *Energy Procedia*, 94(1876), 227–231. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.228>
- Sung, S., & Jung, W. (2019). Economic competitiveness evaluation of the energy sources: Comparison between a financial model and levelized cost of electricity analysis. *Energies*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/en12214101>
- Tasneem, Z., Al, A., Das, S. K., Saha, D. K., Islam, R., Ali, F., ... Alam, F. (2020). *Developments in the Built Environment An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application : Prospect and challenges*. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033>
- The European Wind Energy Association. (2011). *Portugal 's rising wind energy star* (Vol. 30).

- U.S. Department of Energy. (2018). *2018 Wind Technologies Market Report*.
- United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Urishev, B. (2019). Decentralized Energy Systems, Based on Renewable Energy Sources. *Applied Solar Energy (English Translation of Geliotekhnika)*, 55(3), 207–212. <https://doi.org/10.3103/S0003701X19030101>
- Wang, H., Oguz, E., Jeong, B., & Zhou, P. (2019). Life cycle and economic assessment of a solar panel array applied to a short route ferry. *Journal of Cleaner Production*, 219, 471–484. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.124>
- Watson, S., Moro, A., Reis, V., Baniotopoulos, C., Barth, S., Bartoli, G., ... Wiser, R. (2019). Future emerging technologies in the wind power sector: A European perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109270>
- Wind Europe. (2020). *Wind energy in Europe in 2019 Trends and statistics*.
- Wu, Y., Zhao, F., Liu, S., Wang, L., Qiu, L., Alexandrov, G., & Jothiprakash, V. (2018). Bioenergy production and environmental impacts. *Geoscience Letters*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0114-y>
- Yao, X., Yi, B., Yu, Y., Fan, Y., & Zhu, L. (2020). Economic analysis of grid integration of variable solar and wind power with conventional power system. *Applied Energy*, 264(February). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114706>
- Yaqoot, M., Diwan, P., & Kandpal, T. C. (2016). Review of barriers to the dissemination of decentralized renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 477–490. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.224>
- Yucesan, M., & Kahraman, G. (2019). Risk evaluation and prevention in hydropower plant operations: A model based on Pythagorean fuzzy AHP. *Energy Policy*, 126(September 2018), 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.039>
- Zalk, J. Van, & Behrens, P. (2018). The spatial extent of renewable and non-renewable power generation : A review and meta-analysis of power densities and their application in the U . S . *Energy Policy*, 123(August 2017), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.023>
- Zigurs, A., Balodis, M., Ivanova, P., Locmelis, K., & Sarma, U. (2019). National Energy and Climate Plans: Importance of Synergy. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 56(6), 3–16. <https://doi.org/10.2478/lpts-2019-0031>
- Zsiborács, H., Baranyai, N. H., Vincze, A., Zentkó, L., Birkner, Z., Máté, K., & Pintér, G. (2019). Intermittent renewable energy sources: The role of energy storage in the european power system of 2040. *Electronics (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/electronics8070729>

Anexo 1 Notas Biográficas dos atores entrevistados

António Sá da Costa:

- Licenciado em Engenharia Civil pelo IST - Instituto Superior Técnico (1972);
- PhD (1979) e Master of Science (1977) pelo MIT - Massachusetts Institute of Technology em Recursos Hídricos;
- Foi docente do IST no Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos de 1970 a 1998;
- Lecionou em cursos de mestrado na área das energias renováveis na FCUL - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e na ESTGP - Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Portalegre;
- Foi engenheiro consultor durante mais de 30 anos, sendo de destacar a realização de centenas de estudos e projetos na área das pequenas centrais hidroelétricas em Portugal, em países africanos e no Brasil;
- Foi fundador do Grupo Enersis e administrador de 1988 a 2008, sendo responsável pelo desenvolvimento de projetos hídricos, eólicos e de ondas;
- Foi Vice-Presidente da ESHA – European Small Hydro Association de 2002 a 2014;
- Foi Vice-Presidente da APE – Associação Portuguesa da Energia de 2003 a 2011.
- Foi Vice-presidente do Conselho Geral da Universidade de Évora;
- Foi Vice-Presidente da EREF – European Renewable Energy Federation de 2004 a 2018;
- É Presidente da EREF – European Renewable Energy Federation desde 2018;
- Foi Presidente da APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis de 1990 a 1996 e de 2000 a 2019.

José Medeiros Pinto:

- Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica (1977) e mestrado em Energia e Sistemas de Potência (1988) pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Foi Secretário-Geral e Senior Consultant da APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis de 2015 a 2020, cuja missão é a de promover as Energias Renováveis principalmente no Setor Elétrico Português, tendo participado em diversos projetos portugueses e europeus de divulgação e promoção das energias renováveis.
- Anteriormente, trabalhou na empresa de Rede de Transporte de Eletricidade em Portugal onde desempenhou atividade em construção de linhas elétricas de muito alta tensão, em estudos de redes, em planeamento de sistemas e na integração de centrais renováveis.
- Foi o responsável (2005-2011) pelos Planos de Desenvolvimento e Investimento da Rede Portuguesa de Eletricidade e participou, como representante português, na elaboração de dois dos Planos de Desenvolvimento da Rede do Sudoeste Europeu (2010-2020) e (2012-2022).
- Foi o coordenador da equipa de supervisão da preparação do "Master Plan of the Mediterranean Basin Electrical Interconnections 2013-2022" realizado pela Associação Mediterrânea de Operadores de Sistemas de Transmissão, tendo também participado no projeto "Paving the Way for the Mediterranean Solar Plan".
- Foi membro do Cigré e participou em duas Conferências do ERIAC (Encontro Regional Ibero-Americano do Cigré) realizados na Foz do Iguaçu em 2005 (Brasil) e 2009 (Argentina).

Teresa Simões:

- Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Doutoramento (PhD) em Energia e Ambiente/Energia e Desenvolvimento Sustentável pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Experiência de 23 anos no LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia: Inicialmente ocupando o cargo de bolseira de investigação, posteriormente como Investigadora Auxiliar Convidada, sendo responsável por projetos de avaliação do recurso eólico e atualmente é Responsável pela Área de Energia Eólica.

Jerónimo Meira da Cunha:

- Licenciatura e Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa
- Pós-Graduação em Sistemas Sustentáveis de Energia - MIT Portugal Program
- Gestor de Projetos na EFACEC (2008-2009)
- Assessor Técnico para o Planeamento Energético e Segurança do Abastecimento na Direção Geral de Energia e Geologia (2009-2017)
- Coordenador do Observatório da Energia na ADENE - Agência para a Energia (2017-2018)
- Técnico Especialista no Gabinete do Secretário de Estado da Energia (2018-2019)
- Adjunto do Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Energia (2019 – em funções)

Ana Estanqueiro:

- Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica, Mestrado e PhD em Engenharia Mecânica pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa
- Foi Professora Associada na Universidade Lusíada (1991-2007)
- Foi Presidente da Agência Internacional de Energia - Acordo Eólico IEA (2006-2008)
- É Membro da IEA Wind - International Energy Agency Wind
- É Professora Associada Convidada na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia.
- Trabalha como Cientista de Investigação em Energia Eólica no Laboratório Nacional Português (LNEG) desde 1987, sendo atualmente Chefe da Unidade de Análise Energética.
- Os seus interesses de pesquisa estão voltados para a integração da energia eólica, com foco em planeamento, modelos dinâmicos, e metodologias para avaliação da integração de energia renovável variável na rede elétrica, beneficiando-se de sua experiência elétrica e mecânica.

Celso França Costa:

-Licenciatura e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

-Experiência de 10 anos na MEGAJOULE, a destacar:

Foi Engenheiro de Projetos no setor de Energia Eólica e Solar (2009-2014);

Foi responsável pelo projeto nacional Wind Index, em parceria com a APREN (2011-2019);

Foi Gerente de projetos de energia eólica, atuou em projetos nacionais e internacionais, totalizando uma capacidade de mais de 3000 MW (2014-2019);

Liderou o departamento de energia solar, coordenando avaliações de recurso solar, apoio ao desenvolvimento de projetos, estudos de viabilidade e due diligence para fins de financiamento de mais de 4000 MW em todo o mundo (2015-2019).

-Atualmente atua como gerente de desenvolvimento de projetos eólicos e solares na Voltalia (2019-Presente)

Anexo 2 Guião da Entrevista

Entrevistado:

Data:

- **Cumprimento das metas políticas no atual contexto**

Tendo em conta os objetivos ambiciosos para Portugal do PNEC e do RNC2050 é importante refletir sobre as melhores vias para atingi-los, especialmente tendo em vista a atual situação de crise imposta pela pandemia de COVID-19.

Q01: Em sua opinião estas metas são realistas e bem fundamentadas? Pouco ou talvez demasiado ambiciosas?

Q02: Como os impactes provocados pela pandemia e pela recessão económica podem auxiliar ou prejudicar o cumprimento das metas traçadas para o setor eólico?

- **Obstáculos no processo de licenciamento**

Globalmente, obstáculos críticos à energia eólica incluem longos tempos de espera e imprevisibilidade dos processos de permissão e autorização.

Q03: Dificuldades no processo de licenciamento representam uma barreira para a energia eólica em Portugal?

Q04: O que se pode fazer para melhorar o processo de licenciamento?

- **Fim de vida útil dos aerogeradores em uso**

Uma parte considerável dos parques eólicos de Portugal está chegando ao final de sua vida útil, caso não haja investimentos de reaproveitamento destes empreendimentos, o setor irá diminuir drasticamente nos próximos anos. Dentre as possibilidades existentes quando uma turbina atinge o fim de vida útil (além da extensão de vida útil e do descomissionamento) destaca-se a repotenciação, que é inclusive uma das estratégias do PNEC para reforçar o setor eólico no país.

Q05: Estão a ser criadas as condições necessárias para a viabilização da repotenciação?

Q06: O que poderia ser feito para reverter esta situação?

Q07: Dentre estas opções quais delas vêm sendo mais utilizadas em Portugal?

- **Controle e mitigação dos impactes ambientais**

Apesar de a energia eólica ser considerada uma opção mais ecológica em comparação com outras fontes fósseis de energia, os riscos e impactes ambientais decorrentes da produção de energia eólica (nomeadamente o alto nível de ruído produzido, impactes na fauna e flora e efeitos visuais na paisagem) devem ser considerados com cuidado pelas autoridades.

Q08: Os impactes ambientais podem representar algum tipo de risco para a evolução da penetração da energia eólica em Portugal?

Q09: De que maneira estes impactes estão sendo identificados e considerados pelas autoridades?

- **Desafios da integração de energia variável na rede elétrica**

Devido à variabilidade e imprevisibilidade do recurso eólico, a sua conexão na rede é considerada um desafio e gera custos adicionais de integração para os sistemas de energia e consumidores.

Q10: De quais maneiras este desafio vem sendo trabalhado em Portugal de modo a minimizar os custos e perturbações na estabilidade da rede elétrica nacional?

Q11: O que se pode fazer para melhorar este cenário?

- **Perspetivas de projetos híbridos envolvendo outras fontes renováveis e/ou produção de hidrogénio verde**

Soluções híbridas de tecnologias de fontes renováveis e o uso do hidrogénio verde são apontadas como ferramentas importantes para criar novas oportunidades para o setor eólico. Em Portugal, o Plano Nacional do Hidrogénio tem como âncora o Projeto Industrial de Hidrogénio Verde em Sines, com foco em alavancar a energia solar e a energia eólica através do aproveitamento da localização estratégica e da estrutura existente no local.

Q12: Há incentivo/previsão de outros projetos eólicos de grande porte envolvendo a hibridização de fontes renováveis e/ou a produção de hidrogénio verde em Portugal?

- **Potencial de exploração da energia eólica *offshore***

Apesar do destaque por sua capacidade de energia eólica *onshore* instalada e pela vasta zona costeira com enorme potencial, Portugal tem apenas um único projeto *offshore*.

Q13: Para o caso de Portugal, esta tecnologia é competitiva em relação aos moinhos tradicionais *onshore*? Quais vantagens/desvantagens tem?

Q14: Além do WindFloat Atlantic há novos projetos ou planos para exploração da energia eólica *offshore* em Portugal?

- **Potencial da microgeração doméstica com uso de microturbinas**

O uso de painéis solares em residências continua em crescimento, ao passo que o uso de turbinas eólicas é ainda insignificante. No entanto, na futura rede elétrica inteligente há indicações de se integrar sistemas FV residenciais com microturbinas eólicas, por se tratar de sistemas que se complementam.

Q15: Em sua opinião porque ainda assim o uso de turbinas eólicas para produção de energia em residências é considerado irrelevante?

Q16: Acredita que este tipo de aplicação teria potencial para ser difundido em Portugal?

Anexo 3 Contacto via e-mail à GENERG (as respostas da empresa estão a itálico)

- **Procedimento legal:**

1- Foi necessário realizar alguma alteração na licença de exploração devido à nova tipologia dos aerogeradores instalados?

Foi necessário atualizar a licença de exploração emitida pela DGEG, onde consta a designação e principais características técnicas das turbinas eólicas agora instaladas.

2- Quais são os procedimentos envolvidos no processo de repotenciação?

Os procedimentos de licenciamento têm quatro vertentes: elétrico (ver ponto anterior), ambiental (abordado abaixo), transporte (transportes especiais, que requerem autorizações específicas, face à necessidade de intervenção em estradas públicas e interrupção pontual de circulação) e de construção (processo de licenciamento de obra na respetiva Câmara Municipal).

3- Segundo alguns entrevistados do meu estudo, apesar do grande interesse envolvido na repotenciação, a sua aplicação parece encontrar obstáculos como a obtenção de licenciamento e a carência de estruturação regulatória. No caso da Central do Vergão, a empresa promotora enfrentou dificuldades no que se refere ao processo de regulamentação? Quais foram estas dificuldades?

A falta de critérios objetivos para os diversos licenciamentos será um obstáculo ao desenvolvimento de projetos deste tipo, especialmente nos licenciamentos ambiental e elétrico. No caso do PE Vergão, esse efeito foi mitigado por isenção de licenciamento ambiental do local de implantação. Outros projetos a implantar em zonas ambientalmente sensíveis podem ser confrontados com requisitos nem sempre lineares ou definidos à partida.

4- Quanto tempo levou até se conseguir implementar?

Desde o início do processo até à conclusão de construção, decorreram três anos. Este prazo pode variar muito, por depender de tantos fatores (como o próprio processo de decisão do promotor, o âmbito do licenciamento ambiental, disponibilidade das turbinas eólicas selecionadas, etc.)

5- Como este processo poderia ser facilitado? Houve algum incentivo por parte do governo?

"O projeto não teve nenhum apoio governamental".

Quanto a formas de agilizar estes processos, podem passar:

- *pela simplificação dos licenciamentos referidos no ponto 2 acima, dado que são utilizadas infraestruturas e terrenos já afetos a esta atividade;*
- *pela sensibilização das entidades concessionárias da rede viária, da rede elétrica e da rede fixa de comunicações (as duas últimas relacionadas principalmente com o impacto de utilização de "blade lifter" para transporte de pás); na verdade, os projetos de "repowering" implicarão transporte de componentes com dimensões cada vez maiores, com consequentes grandes desafios na logística de transporte; todavia, esta necessidade de adaptação das referidas redes tem sido recebida com grande resistência por parte das entidades acima referidas.*

- **Produção de energia:**

1- Valores médios da produção de energia anual pré e pós repotenciação. Qual a alteração no potencial de produção?

*"Valores anuais de produção (orçamento): Original - 20,3 GWh; Repowering - 37,3 GWh;
Valores correspondentes de fator de capacidade (orçamento): Original - 18%; Repowering - 35%"*

2- Relação custo-eficácia: tem indicadores que permitam relacionar os custos incorridos com o aumento potencial de produção? Ou outro indicador de interesse neste contexto?

No caso do Vergão, foi possível negociar um contrato de Operação e Manutenção com preço por KW produzido inferior ao do contrato associado ao projeto original. Os restantes custos de OPEX não sofreram alterações significativas, porque tanto a instalação elétrica como as restantes

infraestruturas associadas ao Parque mantiveram-se (situação comum à maioria dos projetos de repowering).

- **Análise Financeira:**

1- Seria possível disponibilizar o estudo de viabilidade do projeto?

O modelo de negócio é considerado como informação não-divulgável.

2- Caso contrário, seria possível ter alguma ideia da rentabilidade económica deste projeto de repotenciação da central? Através de:

a. Caracterização da estrutura de custos, incluindo os principais custos de investimento e O&M

b. Caracterização das fontes de receita

c. Indicadores de rentabilidade

(Se não for possível disponibilizar valores absolutos, é possível ter dados relativos/percentuais)

"CAPEX: entre 1 e 1,1 milhões de euros por MW; OPEX manteve-se; Produção: ver resposta ao ponto 1 da ""Produção de Energia"";

A dificuldade de calcular a análise de viabilidade prende-se com o cálculo do investimento inicial não amortizado e com a alteração da tarifa média (que terá um valor de cerca de 40% do valor inicial). Assim a rentabilidade do investimento (perda de imobilizado e redução de tarifa) não chegará nunca, mesmo neste caso de excecional duplicação de energia, a mais de 40% a 60% do valor inicial do negócio. Contudo, a alternativa seria, ou será, cancelar a produção de energia eólica. "

3- Foram avaliadas outras opções como, por exemplo, a extensão da vida útil das antigas turbinas através de investimentos na substituição de componentes?

No caso do PE Vergão, a motivação principal foi o ganho de eficiência, uma vez que a referência era a turbina Nordex N62 1,3MW (turbina do projeto original), de uma geração tecnologicamente ultrapassada (tecnologia stall). O repowering deste Parque não foi motivado por necessidade de substituição de componentes ou fim de vida útil das turbinas. Quanto às ditas Nordex N62, não foi possível encontrar comprador em tempo útil, pelo que o destino foi o desmantelamento e valorização / reciclagem.

- **Impactes Ambientais:**

1- Foi necessário realizar um novo licenciamento ambiental/estudo de impacto ambiental?

Dado que o projeto não se encontrava em zona ambientalmente sensível, encontrando-se inclusivamente fora de REN, foi dispensada qualquer avaliação ambiental, tendo sido apenas realizada monitorização de ruído.

2- Se sim, este estudo estaria disponível? Quais principais aspetos, positivos e negativos, foram levantados em termos de impactes ambientais?

Não aplicável (ver resposta anterior).

Anexo 4 Matriz da Análise *SWOT*: estudo dos fatores críticos para a evolução da penetração da energia eólica no balanço energético

<p>Abordagem agressiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crescimento e amadurecimento da energia eólica corrobora a transição energética na procura pelo futuro sustentável (Rebelo, 2019) • Eólica offshore adotada como o próximo ponto de viragem na transição energética (GWEC, 2020) • Produção de hidrogénio verde alimentada por energias renováveis considerada como requisito fundamental para a transição energética (GWEC, 2020) • Dentre as fontes renováveis, a eólica offshore tem o maior potencial para produzir hidrogénio sustentável (GWEC, 2020) 	<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ações em prol do desenvolvimento sustentável (Macedo, 2016) • Metas políticas de controlo das alterações climáticas (IRENA, 2015; IEA Wind, 2019) • Aceleração da transição energética (GWEC, 2020) • Híbridação (GWEC, 2020) • Produção de hidrogénio verde (Ayodele & Munda, 2019) • Políticas e incentivos de melhorias na infraestrutura e integração de sistemas FER (REN21, 2020; IRENA, 2019) 	<p>Abordagem defensiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Natureza variável e produção distribuída ainda desafiam a operação da rede elétrica, quando a participação de ERV excede 25% são necessárias medidas de integração mais abrangentes (Sales & Uhlig, 2017; Zsborács et al., 2019) • Variabilidade e imprevisibilidade do recurso causam custos adicionais de integração na rede elétrica (Yao et al., 2020) • Impactes ambientais e riscos deve ser considerados pelas autoridades e necessitam de soluções técnicas e adoção de políticas para minimização de conflitos e perturbações nas comunidades e no meio (Nazir et al., 2019)
<p>Forças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Notável capacidade instalada (IRENA, 2019a) • Contribuição na diminuição da pegada carbónica (IEA Wind, 2019) • Baixo LCOE (IEA Wind, 2019; IRENA, 2019b) • Rápidos e constantes avanços tecnológicos (Watson et al., 2019) • Criação de emprego (Sooriyaarachchi et al., 2015) • Armazenamento alcançado de diversas maneiras (Ould Amrouche et al., 2016) • Potencial <i>offshore</i> (Diaz & Guedes Soares, 2020) • Ocasião de repotenciação (Martinez et al., 2018) • Universalidade (Tasneem et al., 2020) • Modularidade (Shi-purkar et al., 2016) 	<p>Análise SWOT</p> <p>Evolução da penetração da energia eólica no mix energético</p>	<p>Fraquezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variabilidade do recurso (Zsborács et al., 2019) • Incerteza associada à produção de energia (Hodge et al., 2018) • Integração afeta a estabilidade da rede elétrica (Al-Shetwi et al., 2020) • Necessidade de armazenamento (Vaquoot et al., 2016) • Degradação da fauna e flora (Ganiyu & Martinez-Huitle, 2020) • Produção de ruído (Nazir et al., 2019) • Efeitos visuais na paisagem (Nazir et al., 2019) • Riscos (Mustafa & Al-Mahadin, 2018) • Vento urbano turbulento dificulta a geração de energia doméstica (Tasneem et al., 2020)
<p>Abordagem de segmentação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • O setor enfrenta o desafio da intensificação da concorrência de preços com avanços tecnológicos contínuos na busca pelo aumento da produção de energia, da eficiência do sistema e redução de custos (REN21, 2019) • Energia eólica dispõe de um dos menores índices de impacto em sua geração em termos de aquecimento global em comparação com outras fontes (Barros et al., 2020) • Indicação de integração de microturbinas eólicas aos painéis FV residenciais devido à complementaridade dos sistemas (Melhem et al., 2016) 	<p>Ameaças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Morosidade e imprevisibilidade dos processos de autorização de projetos (IRENA, 2016) • Uso de mecanismos competitivos, como leilões e licitações que intensificam a concorrência de preços (REN21, 2019) • Competitividade entre as demais fontes de energia, em especial as renováveis e a tecnologia solar fotovoltaica (Watson et al., 2019) • Maior difusão e consolidação da tecnologia solar FV na geração de energia residencial (Kouhestani et al., 2019) 	<p>Abordagem de desinvestimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de painéis solares para geração de energia residencial continua a crescer, enquanto o uso de microturbinas eólicas é insignificante devido as dificuldades no aproveitamento do recurso em meios urbanos (Loganathan et al., 2019) • Oposição aos projetos eólicos por parte de ativistas ambientais que beneficiam da morosidade dos processos de aprovação intensificando a barreira administrativa enfrentada pelas empresas promotoras (Portal Energias Renováveis, 2018)